Digitized by Google

Digitized by Google

S

Kurze Darstellung

des

Galvanismus

Nach Turner, mit Benutzung der Original-Abhandlungen Faraday's bearbeitet

von

Dr. Johann Müller.

Mit einem Vorwort

von

Dr. J. Liebig.

Mit 38 Abbildungen.

Darmstadt.
Verlag von Ludwig Pabst.
1836.

Kurze Darstellung

des

Galvanismus

Nach Turner, mit Benutzung der Original-Abhandlungen Faraday's bearbeitet

von

Dr. Johann Heinrich Jakob Müller.

Mit einem Vorwort

von

Dr. J. Liebig.

Mit 38 Abbildungen.

Darmstadt.
Verlag von Ludwig Pabst.
1836.

Digitized by Google

Gedruckt bei Cath. Will in Darmstadt.

Digitized by Google

1199672

QL
511
.M8

Die grossen und umfassenden Arbeiten *Faraday's* haben als eine klare und unwidersprechliche Thatsache ausser allen Zweifel gestellt, dass die Ansichten *Volta's* und aller späteren Physiker ungenügend zur Erklärung der wichtigsten Erscheinungen des Galvanismus sind.

Faraday's Entdeckungen sind in einer Reihe von Abhandlungen zerstreut, welche nicht Allen, die daran Interesse nehmen, zugänglich, oder ohne tieferes Studium verständlich sind. Diess hat Herrn Dr. *Müller* veranlasst, eine kurze, allgemein fassliche und gründliche Darstellung aller neueren von *Faraday* entdeckten Thatsachen, mit den Folgerungen, die sich daraus ergeben, zu unternehmen und das Werk, welches er hiemit dem Publikum vorlegt, scheint mir allen Anforderungen zu entsprechen, die man billigerweise an eine solche Bearbeitung machen

Digitized by Google

darf; sie ist mit Sachkenntniss und Gewissenhaftigkeit durchgeführt und kein werthvoller Versuch ist unberücksichtigt geblieben. Den vorgehabten Zweck beachtend, muss man es Herrn Dr. *Müller* Dank wissen, sich dieser verdienstvollen Arbeit unterzogen zu haben.

Giessen, 2. October 1836.

Dr. Justus Liebig.

Digitized by Google

Vorrede.

In der fünften Auflage von Turner's *Elements of chimistry* findet man eine treffliche populäre Darstellung des Galvanismus nach dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft. In der Hoffnung, dadurch auch Solche, welche nicht im Stande sind, durch das Studium der Originalabhandlungen die so wichtigen Entdeckungen Faraday's kennen zu lernen, mit den Hauptresultaten seiner Arbeiten bekannt zu machen, begann ich die Uebersetzung derselben. Ich fand jedoch bald, dass zur vollkommenen Verständlichkeit Turner's Darstellung oft unzureichend sey, dass es nothwendig sey, Manches ausführlicher darzustellen, namentlich aber die angeführten Versuche entweder mit mehr Vollständigkeit zu behandeln, oder da, wo Turner die Resultate nur historisch anführt, die nöthigen Versuche ergänzend hinzuzufügen, wozu ich die Faraday'schen Original-

Digitized by Google

Abhandlungen benutzte. Nach dem Erscheinen des Turner'schen Werkes machte Faraday noch einige Abhandlungen bekannt, deren Hauptinhalt ich nebst einigen Entdeckungen deutscher Physiker in populärer Darstellung beifügen zu müssen glaubte. So entstand das vorliegende Schriftchen. Da besonders, wo schon früher bekannte Thatsachen behandelt werden hielt ich es für unnöthig, die Turner'sche Darstellung zu ändern, oder Etwas hinzuzufügen.

Darmstadt, 3. October 1836.

J. Müller.

Digitized by Google

Einleitung.

Der *Galvanismus* wurde durch die Versuche über thierische Reizbarkeit entdeckt, welche *Galvani*, Professor der Anatomie zu Bologna, im Jahr 1790 anstellte; daher auch der Name. Im Laufe seiner Forschungen entdeckte er die Thatsache, dass in dem Schenkel eines erst vor Kurzem getödteten Frosches Muskelcontractionen erregt werden, wenn man zwei Metalle, wie Zink und Silber, von denen das eine den Cruralnerv, das andere die Muskeln berührt, in welchen er vertheilt ist, in metallische Berührung bringt. Galvani glaubte, dass diese Phänomene von der in den Muskeln vorhandenen Elektricität abzuleiten seyen, und dass die Metalle dabei nur als Leiter dienten. Er glaubte, dass die thierische Elektricität vom Gehirne ausgehend über den ganzen Körper verbreitet sey, und vorzüglich ihren Sitz in den Muskeln habe. Er war der Meinung, dass die verschiedenen Theile jeder Muskelfieber in entgegengesetzten Zuständen elektrischer Erregung sich befänden, wie die beiden Oberflächen einer geladenen Leidner Flasche, und dass Zusammenziehungen stattfänden, wenn das elektrische Gleichgewicht hergestellt wird. Diess geschieht, wie er meinte, im Leben durch die Nerven, und bei seinen Versuchen durch die Anwendung metallischer Leiter.

Digitized by Google

Diese Ansicht Galvani's fand mehrere Gegner; einem derselben, dem gefeierten *Volta*, Professor der Naturwissenschaften zu Pavia, gelang es, ihre Unrichtigkeit nachzuweisen. Volta behauptete, dass die elektrische Erregung lediglich von den Metallen herrühre, und dass die durch ihre Berührung hervorgebrachte Elektricität beim Durchgang durch die Nerven und Muskeln des Thiers Zuckungen hervorbrächte. Den Versuchen, welche Volta darüber anstellte, verdanken wir den ersten voltaischen Apparat, welcher in den „Philosophical Transactions vom Jahr 1800" beschrieben ist, und welcher den Namen der *voltaischen Säule* erhielt: desshalb gehört diesem ausgezeichneten Naturforscher eigentlich das Verdienst, den Grund zur Kenntniss des Galvanismus gelegt zu haben.

Die Identität des Agens, welches bei den Phänomenen des Galvanismus, und bei denen der gewöhnlichen Elektrisirmaschine wirkt, ist nun zunächst der Gegenstand unserer Betrachtung. Voltaische und gewöhnliche Elektricität sind derselben Kraft zuzuschreiben, aber unter verschiedenen Bedingungen erregt, und in der Regel auf verschiedene Weise und unter verschiedenen Umständen wirkend. Die Wirkungen der letztern werden durch eine verhältnissmässig kleine Menge von Elektricität hervorgebracht, die sich im Zustande der Isolation befindet, in welchem sie eine grosse Intensität äussert, wie aus ihren merkwürdigen, anziehenden und abstossenden Kräften, und aus ihrem Vermögen den Durchgang durch hindernde Mittel sich zu erzwingen hervorgeht. Im Galvanismus ist das elektrische Agens enger mit andern Substanzen verbunden, in grösserer Menge entwickelt, erreicht aber nie eine so hohe Spannung, und bringt seine eigenthümlichen Wirkungen hervor, während es in einem ununterbrochenen Strom durch die Leiter sich hindurch bewegt.

Digitized by Google

Voltaische Ketten.

Die Vorrichtungen, welche zur Erregung des Galvanismus dienen, werden in *„einfache“* und *„zusammengesetzte“* getheilt. Die ersteren sind voltaische Ketten in ihrer einfachsten Form, die letztern hingegen sind eine Vereinigung einfacher Ketten, welche zusammenwirken. Es wird am zweckmässigsten seyn, mit der Beschreibung der einfachsten anzufangen.

Einfache voltaische Ketten. Wenn eine Zinkplatte und eine Kupferplatte in ein Gefäss mit Wasser gestellt und die beiden Metalle mit einander entweder unmittelbar oder mittelst eines Metalldrahtes in Verbindung gebracht werden, so wird Galvanismus erregt. Die Wirkung ist hier in der That sehr schwach, und kann durch die gewöhnlichen Methoden nicht entdeckt werden; sobald man aber dem Wasser etwas Schwefelsäure zusetzt, so wird sich eine Menge von Wasserstoffbläschen auf der Oberfläche des Kupfers entwickeln. Diese Erscheinung dauert ununterbrochen fort, so lange der metallische Contact zwischen den Platten besteht, in welchem Falle man sagt: die Kette sey *geschlossen;* die Erscheinung hört auf, sobald die Kette unterbrochen, d. h. sobald die metallische Berührung zwischen den Platten aufgehoben wird. Das Wasserstoffgas, welches von der Kupferplatte aufsteigt, rührt von dem Wasser her, welches durch den elektrischen Strom zersetzt wird, und das Aufhören seines Erscheinens zeigt den Moment an, in welchem der elektrische Strom aufhört. In diesem Falle besteht die voltaische Kette aus Zink, Kupfer und einer dazwischen befindlichen verdünnten Säure; die Kette bildet jedoch nur dann einen elektrischen Strom, wenn die beiden Metallplatten verbunden sind. Diese Vorrichtung ist Fig 1. dargestellt. Durch Kupferdräthe, welche

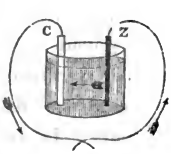


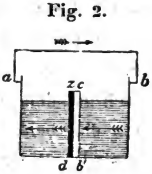
Fig. 1.

Digitized by Google

an die Platten angelöthet sind, kann die metallische Berührung hervorgebracht und unterbrochen werden. Mittelst eines Galvanometers findet man, dass ein Strom positiver Elektricität fortwährend durch die geschlossene Kette von Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer, und vom Kupfer durch die Leitungsdräthe zum Zink geht, wie es in der Figur durch die Pfeile angedeutet ist. Der Theorie zweier elektrischer Fluida gemäss geht auch ein Strom negativer Elektricität gerade in entgegengesetzter Richtung durch den Apparat. Der Einfachheit wegen wird in der Folge immer nur der Lauf des positiven Stroms angedeutet werden.

Insofern man die voltaische Wirkung betrachtet, ist es gleichgültig, an welcher Stelle die Platten in Fig. 1. in Verbindung gebracht werden. Ein Strom entsteht, der Contact zwischen den Platten mag unten stattfinden, wo sie mit Flüssigkeit bedeckt sind, oder oben, wo sie unbedeckt sind, oder auch der ganzen Länge der Platten nach, vorausgesetzt, dass sie in dasselbe Gefäss mit verdünnter Säure eingetaucht sind. Ist blos eine Platte in die saure Lösung eingetaucht, so entsteht keine voltaische Wirkung, man mag die Platten in Berührung bringen wie man will; auch reicht es nicht hin, die eine Platte in ein Gefäss, die andere aber in ein anderes zu stellen. Eine Zinkplatte, welche auf eine Kupferplatte aufgelöthet ist, giebt, in verdünnte Säure eingetaucht, einen Strom, welcher vom Zink durch die Flüssigkeit hindurch zum Kupfer geht; werden aber die auf einander gelötheten Platten so in ein Gefäss mit hölzernem Boden und metallischen Seiten befestigt, dass dadurch zwei getrennte Zellen gebildet werden, wie es in Fig. 2. der vertikale Durchschnitt zeigt, so bringt das Eingiessen der verdünnten Säure in die Zellen keinen Strom hervor, wenn nicht die Flüssigkeit in den Zellen durch feuchte Fasern, oder sonst eine poröse Substanz

Fig. 2.

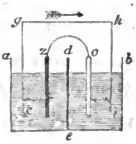


Digitized by Google

oder auch wie in der Figur durch einen Metalldrath *a b* in Verbindung gebracht wird, dessen Enden entweder an die metallischen Seiten der Zellen, welche die Flüssigkeit enthalten, angelöthet oder in die Flüssigkeit selbst eingetaucht seyn mögen. Der positive Strom bewegt sich in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung.

Statt dass die Platten zusammengelöthet sind, können sie durch einen Drath verbunden und in die getrennten Zellen *a e* und *e b*, Fig. 3., in welcher *d e* eine Scheidewand vorstellt, eingetaucht seyn, vorausgesetzt, dass der positive Strom, welcher von der Zinkplatte *z* ausgeht, durch einen Drath *f g h i* oder ein andres leitendes Medium in die Zelle *b e* geführt wird, in welcher die Kupferplatte *c* eingetaucht ist.

Fig. 3.



Eine einfache voltaische Kette kann auch durch ein Metall und zwei Flüssigkeiten hervorgebracht werden, vorausgesetzt, dass die Flüssigkeiten von der Art sind, dass auf der einen Seite der Metallplatte eine stärkere chemische Wirkung hervorgebracht wird, als auf der andern. Befestigt man z. B. eine Zinkplatte *z* in einem Kasten, Fig. 4., und giesst alsdann eine Salzlösung in die eine Zelle *b b'*, verdünnte Salpetersäure aber in die andere Zelle *a a'*, so wird ein positiver Strom in der Richtung der Pfeile gebildet, vorausgesetzt, dass die Kette durch einen Draht *a b*, der entweder an den metallischen Seiten des Kastens befestigt, oder in die Flüssigkeit der Zellen eingetaucht seyn kann, geschlossen ist.

Fig. 4.

Sogar kann dieselbe saure Lösung beide Zellen einnehmen, wenn nur irgend eine Ursache vorhanden ist, welche veranlasst, dass das Zink auf der einen Seite mehr als auf der andern aufgelösst wird, wie z. B. wenn die eine Seite rauh, die andere polirt ist, oder wenn die Flüssigkeit in die eine Zelle heiss, in die andere aber kalt

Digitized by Google

gegossen wird. In diesem Falle ist die Wirkung dieselbe, als wenn man zwei verschiedene Flüssigkeiten angewandt hätte.

Eine interessante Art einfacher voltaischer Ketten wird durch das käufliche Zink hervorgebracht. Dieses Metall, wie es in den Läden verkauft wird, enthält Streifen von Zinn, Blei, und etwas mehr als ein Prozent Eisen, welches mechanisch durch die ganze Masse vertheilt ist. Beim Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure bilden diese Eisentheilchen mit dem umgebenden Zink eine Menge voltaischer Ketten, welche ihre Ströme durch die Flüssigkeit, die sie befeuchtet, hindurchsenden, und dadurch eine grosse Menge Wasserstoffgas entbinden. Reines destillirtes Zink wird bei weitem weniger durch verdünnte Schwefelsäure, deren spezifisches Gewicht zwischen 1,068 und 1,215 liegt, angegriffen; wenn man aber zwei Prozent Eisenfeile oder etwas weniger mit ihm zusammen geschmolzen hat, so wird es alsdann eben so schnell aufgelöst, wie das käufliche Zink. Ebenso wird reines Eisen oder reiner Stahl weit weniger von verdünnter Schwefelsäure angegriffen, als dieselben Substanzen mit einer geringen Beimischung von Platin oder Silber. Herr Sturgeon hat bemerkt, dass das käufliche Zink, wenn seine Oberfläche amalgamirt ist (was dadurch bewerkstelligt werden kann, dass man die Zinkplatte in verdünnte Salpetersäure eintaucht, die mit zwei bis drei Theilen Wasser verdünnnt ist, und sie alsdann mit Quecksilber einreibt) der Wirkung der verdünnten Säure eben so widersteht, wie das reinste Zink. Diese Thatsache, von der Faraday in seinen letzten Untersuchungen eine treffliche Anwendung gemacht hat, scheint dem Quecksilber zugeschrieben werden zu müssen, welches die Oberfläche des Zinks in den Zustand einer vollkommenen Gleichförmigkeit bringt, indem es die Verschiedenheiten, welche zwischen verschiedenen Stellen stattfinden, und die zur Bildung kleiner galvanischer Ströme nöthig sind, aufhebt; ein Theil

Digitized by Google

derselben kann also nicht als Entlader für einen andern wirken, und es hört desshalb auch alle Unregelmässigkeit in der Zersetzung der Flüssigkeit auf. (Faraday. 8te Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXV. pag. 238.)

Während der Strom, welcher bei der Berührung zweier Metalle entsteht, die Wirkungen der Verwandtschaft eines derselben zu einem Elemente der Flüssigkeit vergrössert, wird das Vermögen des andern Metalls, dieselben Veränderungen zu erleiden, verhältnissmässig verkleinert. So wird, wenn eine Zinkplatte und eine Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer aber sich weniger schnell oxydiren, als es ohne die Berührung der Fall seyn würde. Für dieses Prinzip geben die Versuche Davy's über Erhaltung des Kupferbeschlags der Schiffe ein sehr schönes Beispiel. Eine Kupferplatte in Seewasser oder in eine Lösung von Kochsalz in einem offnen Gefäss eingetaucht, ist einem schnellen Anfressen unterworfen; ein grünes Pulver, gewöhnlich untersalzsaures Kupferoxyd genannt, welches aber eigentlich ein Chloroxyd ist, bildet sich: der athmosphärische Sauerstoff, welchen das Seewasser absorbirt enthält, verbindet sich mit dem Kupfer und dem Natrium; das letztere giebt sein Chlor zum Theil an das Kupfer ab, und das Oxyd des Kupfers verbindet sich mit dem Chlorid desselben. Wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder einem andern Metall ist, welches mehr elektropositiv ist, als es selbst, so ist das Zink oder dieses andere Metall derselben Veränderung unterworfen, von der oben beim Kupfer gesprochen wurde, und das letztere ist davor geschützt. Davy fand, dass die Menge des Zinks, welche nöthig ist, um mit Kupfer eine für diesen Zweck wirksame voltaische Kette zu bilden, sehr gering wäre. Man hat gefunden, dass ein Stück Zink von der Grösse einer Erbse, oder so gross wie der Knopf eines kleinen runden Nagels hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu schützen; dabei ist es gleichgültig, wo es

Digitized by Google

angebracht ist, ob oben, oder unten, oder in der Mitte der Kupferplatte, und unter welcher Form es angewendet wird. Auch wenn die verschiedenen Kupferstücke durch Dräthe oder dünne Fäden, die nur $^1/_{40}$ oder $^1/_{50}$ Zoll im Durchmesser haben, verbunden sind, so ist die Wirkung dieselbe; jede Seite, jede Oberfläche, jedes Theilchen des Kupfers bleibt glänzend, während das Eisen oder das Zink langsam angefressen wird. Kupferplatten durch Zink, Schmiede- oder Gusseisen, dessen Oberfläche $^1/_{40}$ bis $^1/_{1000}$ von der des Kupfers betrug, wurden mehrere Wochen lang der Fluth in dem Hafen von Portsmouth ausgesetzt, und ihr Gewicht vor und nach dem Versuch genau ausgemittelt. Wenn die Oberfläche des schützenden Metalls $^1/_{40}$ bis $^1/_{150}$ von der des Kupfers betrug, war kein Zerfressen und keine Abnahme an demselben zu bemerken; bei kleineren Quantitäten aber, wie $^1/_{200}$ bis $^1/_{400}$, erlitt das Kupfer eine Gewichtsabnahme, welche in dem Verhältniss grösser wurde, als die Grösse des schützenden Metalls abnahm. Zur Bestätigung der Allgemeinheit dieses Prinzips fand man, dass $^1/_{1000}$ Gusseisen eine verhältnissmässige Menge Kupfer schützte. (Phil. Trans. 1824.)

Leider hat sich gezeigt, dass diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, practisch nicht angewendet werden kann, weil man gefunden hat, dass das Kupfer bis zu einem bestimmten Grad angefressen seyn muss, wenn es nicht durch das Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll. Das Chloroxyd des Kupfers, welches sich bildet, wenn die Schiffsbekleidung ungeschützt ist, ist diesen Pflanzen und Thieren schädlich, und hält desshalb das Kupfer rein von solchen fremdartigen Körpern.

Zur Konstruction einfacher voltaischer Ketten kann man sich sehr verschiedener Materialien bedienen; die Kombinationen, welche man gewöhnlich anwendet, bestehen entweder: *erstens* aus zwei vollkommenen und einem unvollkommenen Leiter, oder *zweitens* aus einem vollkomme-

Digitized by Google

nen und zwei unvollkommenen Leitern. Die Substanzen, welche unter dem Namen der vollkommenen Leiter verstanden werden, sind Metalle und Holzkohle; die unvollkommenen Leiter sind Wasser und wässrige Lösungen. Es ist wesentlich für die Wirkung der ersten Art von Ketten, dass der unvollkommene Leiter auf das eine der Metalle chemisch einwirkt; im Falle er beide angreift, muss die Wirkung auf das eine stärker seyn, als auf das andere. Man hat bis jetzt allgemein gefunden, dass das am stärksten angegriffene Metall in Beziehung auf das andere positiv ist, oder dass es dieselben Beziehungen behält, wie das Zink zum Kupfer in den Figuren 1., 2. und 3. Davy hat in seiner „Bakerian lecture" von 1826 (Phil. Trans.) folgende Liste für Vorrichtungen der ersten Art gegeben; der unvollkommene Leiter ist entweder eine gewöhnliche Säure, eine alkalische Lösung, oder ein aufgelösstes Schwefelmetall, wie z. B. Schwefelkalium.

Das zuerst erwähnte Metall ist immer positiv in Beziehung auf die in der Reihe nachfolgenden.

Mit gewöhnlichen Säuren. — Kalium mit seinen Amalgamen, Barium mit seinen Amalgamen, Zinkamalgam, Zink, Kadmium, Zinn, Eisen, Wismuth, Antimon, Blei, Kupfer, Silber, Palladium, Tellur, Gold, Holzkohle, Platina, Iridium, Rhodium.

Mit alkalischen Lösungen. — Die alkalischen Metalle mit ihren Amalgamen, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Eisen, Silber, Palladium, Gold und Platina.

Mit Lösungen von Schwefelmetallen. — Zink, Zinn, Kupfer, Eisen, Wismuth, Silber, Platina, Palladium, Gold, Holzkohle.

Faraday hat gezeigt, dass das Vorhandenseyn von Wasser zur Konstruction voltaischer Ketten durchaus nicht nothwendig ist; sie können auch durch andere zusammengesetzte Flüssigkeiten gebildet werden, wie z. B. durch geschmolzene Metallchloride, Jodide und Fluoride, voraus-

Digitized by Google

gesetzt, dass sie durch Galvanismus zersetzt werden können, und dass sie auf ein Metall der Kette eine stärkere chemische Wirkung äussern, als auf das andere. Es wird weiter unten noch ausführlicher davon gesprochen werden.

Zur Konstruction von Ketten der zweiten Art, d. h. von solchen, welche aus einem vollkommenen Leiter und zwei unvollkommenen konstruirt sind, giebt Davy in seinen Elements of chemical philosophy folgende Tafel.

Lösungen von Schwefelkalium	Kupfer	Salpetersäure
Kali	Silber	Schwefelsäure
Natron.	Blei	Salzsäure
	Zinn	andre saure Lösungen.
	Zink	
	andere Metalle	
	Holzkohle.	

Die wirksamste unter diesen Kombinationen ist diejenige, wo das Metall auf der einen Seite von Schwefelkalium, auf der andern von einer Säure chemisch angegriffen wird. Einen Versuch darüber kann man leicht anstellen, wenn man verdünnte Salpetersäure in ein kleines Gefäss von Kupfer oder Silber giesst, das in einem anderen Gefäss sich befindet, welches die Lösung des Schwefelkaliums enthält. Auch die folgenden Anordnungen können zu diesem Zwecke benutzt werden: zwei Stücke von dickem Flanell, das eine mit verdünnter Säure, das andere mit der Lösung des Schwefelmetalls befeuchtet, werden auf die entgegengesetzten Seiten einer Kupferplatte gelegt, und alsdann die Kette geschlossen, indem man jedes der Flanellstücke mit dem Leitungsdrath berührt, oder auch, indem man zwei Kupferplatten durch einen Drath verbindet, die eine Platte in ein Glas mit vsrdünnter Säure, die andere aber in ein andres mit einer alkalischen Lösung gefülltes Glas stellt, und alsdann die Flüssigkeiten der beiden Gefässe durch Fäden von Asbest, Kattun oder dergleichen, die mit einer Salzlösung befeuchtet sind, verbindet. Auch

Digitized by Google

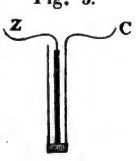
in folgender Ordnung kann man eine ähnliche Kombination machen: auf ein Stück von Glas oder von trocknem Holz legt man eine Kupferplatte, darauf ein mit einer verdünnten Säure befeuchtetes Stück Flanell, darauf wieder ein mit einer Salzlösung, und dann ein mit einer Lösung von Schwefelmetall befeuchtetes Stück Flanell, und darauf endlich eine zweite Kupferplatte, die mit der ersten durch einen Drath verbunden seyn muss.

Zur Hervorbringung galvanischer Phänomene sind Metalle nicht wesentlich nothwendig. Man hat solche Kombinationen aus Schichten von Holzkohle und Graphit, von Muskelscheiben und Gehirn, von Rüben und Holz gemacht. Die Wirkung dieser Ketten, wenn auch angehäuft durch die Vereinigung vieler Platten, ist dessen ungeachtet ausserordentlich schwach, sie werden desshalb in der Praxis wohl äusserst selten angewandt werden.

Von allen oben beschriebenen einfachen voltaischen Ketten werden zu gewöhnlichen Zwecken fast allein nur diejenigen angewandt, die aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte bestehen, welche durch eine Säure erregt, wie in Fig. 1. geordnet sind.

Die Form und die Grösse der voltaischen Apparate ist ausserordentlich verschieden. Anstatt die Platten wirklich in die saure Lösung einzutauchen, kann man ein damit befeuchtetes Stück Tuch zwischen beide legen; auch kann man ein plattes Gefäss von Kupfer machen, welches die Flüssigkeit aufnimmt, und das Zink zwischen den beiden Seiten befestigen, wie es der beistehende vertikale Durchschnitt Fig. 5. zeigt; man muss dabei Sorge tragen, den unmittelbaren Contact der Zinkplatte mit den Wänden des Kupfergefässes durch dazwischen gebrachte Stückchen von Holz, Kork oder von andern unvollkommenen Leitern der Elektricität zu verhindern.

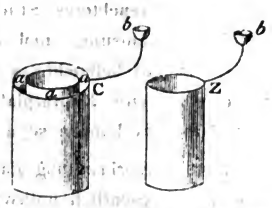
Fig. 5.



Digitized by Google

Eine andere Vorrichtung, welche noch gebräuchlicher ist, weil man das Zink nach Belieben wegnehmen und reinigen kann, ist in Fig. 6. dargestellt. *C* ist ein Gefäss, welches aus zwei Cylindern von Kupferblech gemacht ist, die ungleichen Durchmesser haben, von denen einer in dem andern steckt, und die am Boden mit einander verbunden sind, so dass ein Raum *a a a* zwischen beiden bleibt, der den Zinkcylinder *Z* und die saure Lösung aufnimmt. Die kleinen Kupfernäpfchen *b b* sind nützliche Anhänge; füllt man sie mit Quecksilber, und taucht man die Enden eines Drathes hinein, so kann die voltaische Kette bequem und leicht geschlossen und unterbrochen werden. Dieser Apparat ist zu elektromagnetischen Versuchen besonders dienlich.

Fig. 6.

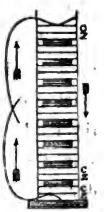


Eine andere Art einfacher Ketten wird gemacht, indem man eine Kupferplatte und eine Zinkplatte um einander herumwindet, so dass jeder Zinkfläche eine Kupferfläche gegenübersteht, und von ihr durch einen kleinen Zwischenraum getrennt ist. Die „London Institution" besitzt einen sehr grossen Apparat dieser Art, welcher unter der Leitung des Herrn Pepys verfertigt worden ist. Jede Platte ist 60 Fuss lang und 2 Fuss breit; der Contact der Platten ist durch dazwischen gelegte Seile von Rosshaar verhindert; die zusammen gewundenen Platten sind an Seilen und Rollen befestigt, und können so in ein Gefäss, welches die verdünnte Säure enthält, herunter gelassen werden. Diese Vorrichtung, in welcher eine grosse zusammenhängende Zinkfläche einer ähnlichen Kupferfläche gegenübersteht, rührt von Dr. Hare in Philadelphia her, welcher ihr wegen ihrer erstaunlichen Fähigkeit Metalle zu schmelzen, den Namen *Calorimotor* gab.

Digitized by Google

Zusammengesetzte voltaische Ketten. — Diesen Namen gebraucht man für solche voltaische Apparate, welche aus einer Reihe einfacher Ketten bestehen. Die ersten Kombinationen dieser Art sind von Volta beschrieben, und allgemein unter dem Namen der *voltaischen Säule* und der *Trogapparate* bekannt. Die voltaische Säule wird aufgebaut, indem man Plattenpaare von Zink und Kupfer, oder von Zink und Silber auf einander legt, wie es Fig. 7. zeigt; die einzelnen Plattenpaare sind durch Tuchscheibchen von einander getrennt, die etwas kleiner sind als die Platten, und die mit einer gesättigten Salzauflösung getränkt sind. Die relative Lage der Metalle muss in der ganzen Säule in einem jeden Paare dieselbe seyn, d. h. wenn in dem ersten Paare das Zink unter dem Kupfer liegt, so muss dieselbe Ordnung in allen andern Paaren beobachtet werden. Wenn diess nicht der Fall ist, so giebt der Apparat entgegengesetzte Ströme, welche sich nach ihrer gegenseitigen Stärke mehr oder weniger neutralisiren. Die Säule, welche aus einer angemessenen Anzahl solcher Kombinationen besteht, muss durch Glassäulen, die in einem dicken Stück von trocknem Holze befestigt sind, gehalten und isolirt werden. Mehrere solcher Säulen können zu gemeinschaftlicher Wirkung vereinigt werden, wenn man eine metallische Verbindung zwischen dem positiven Ende einer jeden Säule, und dem negativen der folgenden herstellt.

Fig. 7.

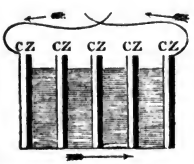


Die voltaische Säule wird gegenwärtig selten angewandt, weil man andere Arten galvanischer Kombinationen besitzt, welche wirksamer und bequemer sind; Die von Herrn Cruickschank vorgeschlagene Batterie besteht aus einem Trog von getrocknetem Holz, der etwa 30 Zoll lang ist; in demselben sind in gleichen Entfernungen von einander 50 Paare Zink- und Kupferplatten, die vorher zusammengelöthet seyn müssen, so arrangirt, dass dasselbe

Digitized by Google

Metall immer nach derselben Seite hin liegt. Jedes Paar ist in einem Einschnitt, der in die Seiten und den Boden des Gefässes gemacht ist, eingelassen und die Fugen mittelst eines Cements wasserdicht verkittet. Ein so konstruirter Apparat ist immer zum Gebrauch bereit, und wird dadurch in Wirksamkeit gesetzt, dass man die Zellen, die durch die Plattenpaare gebildet werden, mit derselben passenden Flüssigkeit füllt. Aus Fig. 8. ist die Art der Anordnung der Platten leicht zu verstehen.

Fig. 8.



Ausser diesen sind noch viele andere leicht anwendbare und sehr wirksame Kombinationen gegenwärtig im Gebrauch. Vor allen wollen wir die verschiedenen Modificationen der Trogapparate betrachten. Bei diesen Apparaten befindet sich die erregende Flüssigkeit in getrennten Gefässen oder Gläsern, die kreisförmig oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Glas enthält ein Plattenpaar, und jede Zinkplatte ist mit der Kupferplatte des nächsten Paares durch einen Metalldrath verbunden, wie es Fig. 9. darstellt. Anstatt der Gläser ist es für den Gebrauch bequem, einen Trog von getrocknetem Holz, oder von glacirtem Erdengeschirr anzuwenden, der durch Scheidewände von demselben Material in getrennte Zellen getheilt ist; damit die Platten bequem und zu gleicher Zeit eingetaucht und aus der Flüssigkeit herausgenommen werden können, sind sie alle an einem Brett von trocknem Holz befestigt; die nöthige Verbindung zwischen dem Zink der einen Zelle und dem Kupfer der folgenden, ist, wie in Fig. 10.

Fig. 9.

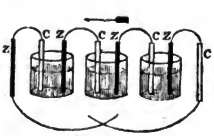
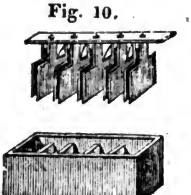


Fig. 10.



Digitized by Google

zu sehen ist, durch einen Drath oder Streifen von Kupfer gemacht.

Eine wesentliche Verbesserung dieses Apparates ist von Wollaston angegeben worden (Mr. Children's Essay in Phil. Trans. for 1815). Er bringt in jeder Zelle eine Zinkplatte und zwei mit einander verbundene Kupferplatten an, die so um die Zinkplatte herumgehen, dass jeder Seite der Zinkplatte einer Kupferplatte gegenübersteht; jede Zinkplatte ist durch einen Metallstreifen oder durch einen Metalldrath mit den Kupferplatten der vorhergehenden Zelle in metallische Verbindung gebracht. Durch diese Einrichtung wird die Wirkung um die Hälfte verstärkt.

Eine ebenfalls sehr praktische Abänderung dieser Vorrichtung ist die, dass man statt der doppelten Kupferplatten Kupfertröge anwendet, in welchen mit Hülfe trockener Holzstückchen die Zinkplatten so befestigt sind, wie in Fig. 5. Sämmtliche Kupfertröge mit ihren Zinkplatten sind wie in Fig. 10. an eine Leiste von trockenem Holz befestigt, die wieder durch zwei Säulen von demselben Material getragen sind, so dass dadurch die Vorrichtung hinlänglich isolirt ist. Die Kupfertröge füllen sich von selbst, indem man sie in die Zellen eines grossen Troges eintaucht, die vorher mit der Säure gefüllt worden sind.

In dieser Vorrichtung sind die gegenüberstehenden Wände zweier auf einander folgender Kupfertröge durch eine Zellenwand des Troges isolirt; sie könnten jedoch auch blos durch Luft isolirt werden, wie es z. B. der Fall ist, wenn man die Kupfergefässe nicht in einen grossen Trog eintaucht, sondern jedes einzelne Kupfergefäss durch Eingiessen der Säure besonders füllt, wodurch jedoch der wesentliche Vortheil verloren geht, den das gleichzeitige Eintauchen in die Säure gewährt.

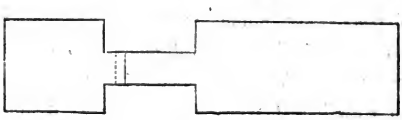
Dr. Hare in Philadelphia fand, dass die Isolation zwischen den einzelnen Kupfergefässen gänzlich unnöthig sey; dadurch wird es möglich, die Kupfergefässe weit näher

Digitized by Google

zusammen zu bringen, und so den ganzen Apparat weit compacter zu machen. Was das Aufgiessen der Säure betrifft, so hat Dr. Hare folgende Einrichtung getroffen. Zwei grosse Tröge von Holz sind an einer gemeinschaftlichen horizontalen Axe so befestigt, dass wenn der eine vertikal steht, der andere eine wagerechte Lage hat; der vertikal stehende enthält die Flüssigkeit. Dreht man die Tröge um ihre gemeinschaftliche Axe so um, dass nur der bisher horizontal liegende eine vertikale Stellung erhält, so wird die Flüssigkeit von selbst aus dem andern heraus in diesen fliessen. Einer der beiden Tröge enthält die Kupfergefässe mit den Zinkplatten, die also durch eine blose Viertelumdrehung der ganzen Vorrichtung um die horizontale Axe der Wirkung der Säure ausgesetzt und wieder entzogen werden können.

Unter allen voltaischen Trogapparaten hat unstreitig die vor Kurzem erst von Faraday beschriebene Einrichtung die grössten Vorzüge. Die dazu angewandten Zinkplatten waren aus gewalztem Zink geschnitten und sind mit einer Kupferplatte von derselben Breite, aber von doppelt so grosser Länge zusammengelöthet, wie es Fig. 11 *a* zeigt.

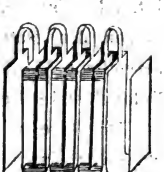
Fig. 11. *a*



Die so zusammengelötheten Platten sind alsdann in der Gestalt Fig. 11 *b* gebogen, und die so zugerichteten Plattenpaare endlich wie in Fig. 11 *c*.

Fig. 11. *b*

Fig. 11. *c*



Digitized by Google

zu einem zusammengesetzten voltaischen Apparat vereinigt, wobei zur Verhütung des unmittelbaren Contacts der Zinkplatten mit den gegenüberstehenden Kupferplatten kleine Korkstückchen angewandt werden können. Eine doppelte Lage Kartenpapier, welche zwischen je zwei gegenüberstehende Kupferflächen gebracht wird, reicht hin, sie vor der Berührung zu schützen, und sie hinlänglich zu isoliren. (Faraday's 10. Reihe; Pogg. Ann. Bd. XXXVI. pag. 508.

Die Grösse und die Anzahl der Platten ist bei verschiednen Apparaten sehr verschieden, und richtet sich im Allgemeinen nach der Wirkung, die man damit hervorbringen will. Die grösste Batterie, welche je gemacht wurde ist die von Herrn Children (in dem oben erwähnten „Essay" etc.) beschriebene. Die Platten derselben sind 6 Fuss lang und 2 Fuss 8 Zoll breit. Gewöhnlich wendet man Platten von 4 bis 6 Quadratzoll an; und wenn eine grosse Kraft erforderlich ist, so verbindet man mehrere Batterien zu gemeinsamer Wirkung indem man das positive Ende der einen mit dem negativen der andern durch einen Metalldrath verbindet. Eine sehr wirksame Batterie ist von Dr. Hare unter dem Namen *Deflagrator* beschrieben worden; sie besteht aus 80 Zinkplatten von 9 Zoll Länge und 6 Zoll Höhe; und 80 Kupferplatten von 14 Zoll Länge und 6 Zoll Höhe die umeinander gewunden, und so verbunden sind, dass sie zu gleicher Zeit in die Flüssigkeit eingetaucht und heraus genommen werden können. (Ann. of Phil. XVII. 329.)

Die grosse Batterie in dem Royal Institution, mit welcher Davy die berühmte Entdeckung von der Zusammensetzung der Alkalien machte, war aus 2000 Plattenpaaren, deren jede 32 Quadratzoll Oberfläche hatte, zusammengesetzt. Man hat sich gegenwärtig davon überzeugt, dass so grosse zusammengesetzte Batterien nicht nöthig sind. Vermehrt man die Anzahl der Platten über eine mässige Gränze hinaus, so geben sie für die meisten Zwecke keine verhältniss-

Digitized by Google

mässige Zunahme an Wirkung, so dass eine Batterie von 50 oder 100 Plattenpaaren, in kräftige Wirkung gesetzt, beinahe eben so wirksam ist, wie eine von viermal grösserer Ausdehnung.

Während der Wirkung einer einfachen Kette, die aus reinem Zink und Kupfer construirt ist, und die durch verdünnte Schwefelsäure erregt wird, steigt alles Wasserstoffgas, welches durch den voltaischen Process entwickelt wird, nur von der Oberfläche des Kupfers auf. Diess ist aber nicht der Fall, wenn man gewöhnliches Zink anwendet, wegen der vielen kleinen Ströme, welche sich an der Oberfläche des Zinks bilden. Wenn man eine Platinplatte und eine amalgamirte Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure eintaucht, deren spezifisches Gewicht 1,068 oder etwas grösser ist, so erscheint gar kein Gas, bis die Platten sich berühren, und alsdann steigt das Wasserstoffgas nur an dem Platin auf, während das Zink ruhig verzehrt wird. Wiegt man die amalgamirte Platte vor und nach der Operation, nach dem die Wirkung eine halbe Stunde oder eine Stunde gedauert hat, so findet man, wenn man den Gewichtsverlust derselben mit dem Gewichte des in dieser Zeit entwickelten und zu diesem Zweck sorgfältig gesammelten Wasserstoffgases vergleicht, dass sich das Gewicht des entwickelten Wasserstoffgases zu dem Gewichtsverlust der Platte verhält wie 1 : 32,3, was das Verhältniss ihrer chemischen Aequivalente ist. Faraday, welcher diess vor Kurzem gefunden hat, hat auch gefunden, dass in einer zusammengesetzten voltaischen Kette von 10 amalgamirten Zinkplatten und 10 Platinplatten, eine jede der erstern während einer bestimmten Periode der Wirkung gleich viel an Gewicht abnahm, und an jeder der letztern eine äquivalente Menge Wasserstoffgas entwickelt wurde. Diese Ausscheidung des einen Bestandtheils der erregenden Flüssigkeit an der einen Platte, während das Element, welches vorher mit ihm verbunden war, sich mit der andern Platte vereinigt, scheint

Digitized by Google

bei der voltaischen Wirkung wesentlich zu seyn; sie steht auf irgend eine Weise mit dem Durchgang des Stroms durch die erregende Flüssigkeit in Verbindung. Sauerstoffgas allein in freiem Zustande mag wohl durch die Oxydation des Zinks Elektricität erregen, einen galvanischen Strom ist es jedoch nur dann zu bilden im Stande, wenn es Bestandtheil einer Flüssigkeit ist, welche mit beiden Platten in Berührung ist.

Nach dem oben Gesagten ist es begreiflich, wie wesentlich bei der Construction voltaischer Apparate die Reinheit des Zinks ist. Ist das Zink unrein, so bilden sich, wie bemerkt wurde, auf der Oberfläche der Zinkplatten kleine galvanische Ketten, die auf die Bildung des Stroms der Batterie nicht den geringsten Einfluss haben; ein Theil der chemischen Kraft, welche das Instrument erregt, wirkt also ganz lokal und geht verloren. In einer Batterie die aus amalgamirten Zinkplatten und aus Platinplatten construirt ist, steigen keine Wasserstoffblasen an den Zinkplatten auf, und alle chemische Kraft trägt also zur Bildung des Stroms der Batterie bei. Um die lokale Wirkung der Säure möglichst zu verhindern, thut man am besten bei der Construction der Batterie, was für eine Einrichtung sie auch sonst haben mag, stets amalgamirte Zinkplatten anzuwenden. Da jede Unreinheit auf der Oberfläche der Zinkplatten die Wirksamkeit der Batterie ausserordentlich schwächt, so muss man Sorge tragen, dass die Platten nach dem jedesmaligen Gebrauche gehörig gereinigt werden.

Die Wirksamkeit neuer Platten ist nicht nur im Allgemeinen grösser als die alter Platten, sondern auch die lokale Wirkung, welche gänzlich verloren geht, ist bei alten stets grösser als bei neuen. Die Wirkung der Batterie ist jedesmal beim ersten Eintauchen der Platten in die Säure am kräftigsten, und nimmt nach und nach immer mehr ab, was wohl daher kommen mag, dass die erregende Flüssigkeit später mehr und mehr neutralisirt wird. Es geht daraus

Digitized by Google

hervor, dass Batterieen, die eine solche Einrichtung haben, dass alle Platten gleichzeitig der Wirkung der Säure ausgesetzt werden können, am vertheilhaftesten sind.

Die Mischung der Flüssigkeit, welche man zur Füllung der Trogapparate anwendet, kann sehr verschieden seyn. Die jetzt zu gewöhnlichen Experimenten fast allgemein angewandte Füllung besteht aus 200 Theilen Wasser, $4\frac{1}{2}$ Theilen Vitriolöl und 4 Theilen Salpetersäure.

Das Nähere über die Vorzüge des einen oder andern Apparates wird später noch erwähnt werden, wenn die Wirkungen der Kette genauer auseinander gesetzt worden sind.

Die Bedingungen für die elektrische Wirkung zusammengesetzter voltaischer Apparate sind denen bei der einfachen Kette ganz ähnlich. Ist die Kette unterbrochen, so wird kein elektrischer Strom wahrgenommen, ist sie aber geschlossen, d. h. berühren sich die Dräthe die an den entgegengesetzten Enden der Batterie befestigt sind, so zeigt das Galvanometer einen Strom positiver Elektricität, welcher durch die Batterie selbst, und durch die Dräthe geht, wie es in den Figuren 8 u. 9 durch die Pfeile angedeutet ist. Die Richtung des Stroms scheint auf den ersten Anblick von der in der einfachen Kette verschieden zu seyn; in der letztern nämlich geht der positive Strom vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer, während in zusammengesetzten Ketten seine Richtung von der äussersten Kupferplatte durch die Batterie zur äussersten Zinkplatte geht. Diese anscheinende Verschiedenheit rührt daher, dass die zusammengesetzten Ketten gewöhnlich von zwei überflüssigen Platten begränzt sind. Die äusserste Zinkplatte und die äusserste Kupferplatte Fig. 8 ist nicht mit der erregenden Flüssigkeit in Berührung, und trägt mithin auch nichts zur galvanischen Wirkung bey; entfernt man diese überflüssigen Platten, welche in der That nur Leiter sind, so ist die ganze Batterie auf vier einfache Ketten zurückgeführt,

Digitized by Google

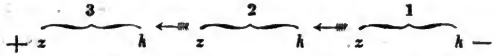
nämlich die drei zusammengelötheten Plattenpaare 2, 3, 4, welche wie in Fig. 2 wirken, und die äussersten Platten 1, 1, welche sich zu einander verhalten, wie die Platten in Fig. 1. Ist Alles so arrangirt, so sieht man, dass die Richtung des Stroms ganz mit der in der einfachen Kette übereinstimmt.

Zu den verschiedenen Arten voltaischen Apparate wird gewöhnlich auch die elektrische Säule Deluc's (gewöhnlich zambonische Säule genannt) gerechnet, welche aus auf einander geschichteten Paaren von Zink- und Silberscheibchen, oder von Silberscheibchen und Blattgold besteht, die durch Papierstückchen getrennt, und wie in einer voltaischen Säule geordnet sind. Sie ist merkwürdig wegen ihres Vermögens Anziehungen und Abstossungen der gewöhnlichen Elektricität bemerklich zu machen, kann aber weder chemische Zersetzungen, noch andere charaktristische Wirkungen des voltaischen Stroms hervorbringen, und ist überhaupt mehr ein elektrisches als ein voltaisches Instrument. Die zambonische Säule wird als Beweis für die Elektricitätserregung durch Berührung angeführt, weil sie jahrelang fortwährend in Wirkung bleibt, ohne dass man die Stücke auseinandernimmt und reinigt. Wahr ist es, dass das mehr oxydirbare Metall langsam verzehrt wird, und dass keine Elektricität erregt wird, wenn das Papier frei oder fast frei von hygrometrischer Feuchtigkeit ist, deren Gegenwart zur Oxydation des Zinks und des Kupfers erfordert wird; zugleich aber scheint doch die Quantität der erregten Elektricität mit der Aufzehrung des Metalls so im Missverhältniss zu stehn, dass man hier die Oxydation wenigstens nicht als alleinige Ursache der Elektricitätserregung ansehn kann.

Digitized by Google

Theorieen des Galvanismus.

Unter den Theorieen, welche zur Erklärung der Elektricität in voltaischen Combinationen vorgeschlagen wurden, haben besonders drei die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen. Die erste rührt von Volta her, welcher annahm, dass die Elektricität nur durch den Contact der Metalle erregt und unterhalten würde. Er betrachtete die Flüssigkeit der Kette nur als Leiter, durch welche die in dem einen Plattenpaare erregte Elektricität von dem einen Theile des Apparates zu dem andern hingeführt wird. Die folgende Reihe stellt diess für die Säule oder die gewöhnliche Batterie dar



Volta glaubte, dass durch den Contact der Metalle in einem jeden Plattenpaare die Zinkplatte positiv und die entsprechende Kupferplatte negativ erregt würde; dass das positive Zink in jedem Paare, das letzte ausgenommen, seinen Ueberschuss an Elektricität dem folgenden Paare mittheilt, von dem es durch die dazwischenbefindliche Flüssigkeit getrennt ist, und dass auf diese Weise jede Zinkplatte nicht allein die Elektricität enthält, die in ihm durch die Berührung mit Kupfer erregt wird, sondern auch die, welche es von dem unmittelbar vorhergehenden Plattenpaare empfängt. So erhält in den drei Plattenpaaren, welche durch die Klammern dargestellt sind, das zweite Paar Elektricität vom ersten, und das dritte Paar nimmt den Vorrath des ersten und des zweiten Paares in sich auf. Daher kommt es, dass die entgegengesetzten Elektricitäten am meisten frei an den entgegengesetzten Enden der Batterie angehäuft sind, und dass sie gegen das andere Ende hin verhältnissmässig abnehmen. Die Intensität ist demnach in den Endpaaren am grössten, und nimmt gegen die Mitte hin fortwährend ab; das mittlere Paar ist weder positiv noch negativ erregt.

Digitized by Google

In Batterieen, welche nach dem Prinzip der Trogapparate construirt sind (Fig. 9) ist die *Elektromotion* wie es Volta nennt der metallischen Verbindung zwischen dem Zink des einen Glases und dem Kupfer des folgenden zuzuschreiben.

Die zweite Thorie ist die von Wollaston vorgeschlagene *chemische Theorie.* Volta legte wenig Gewicht auf die chemischen Veränderungen, welche stets bei voltaischen Ketten, sowohl bei einfachen als bei zusammengesetzten stattfinden, indem er sie als zufällige, unwesentliche Phänomene betrachtete, und sie bei dem Aufbau seiner Theorie gänzlich vernachlässigte. Die Beständigkeit ihres Auftretens zog jedoch die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich. Bei den früheren Discussionen über die krampfhaften Bewegungen im Frosch behauptete Fabroni im Widerspruch mit Volta, dass diese Wirkung gar nicht von der Elektricität herrühre, sondern von dem Reiz des gebildeten Metalloxyd's, oder von der durch den Vorgang entwickelten Hitze. Ausgedehntere Untersuchungen zeigten allerdings die Unrichtigkeit dieser Lehre; Fabroni aber machte doch einen sehr geistreichen Gebrauch von der Thatsache, soweit er sie kannte, und bahnte dadurch der chemischen Theorie Wollastons den Weg.

Der verstorbene Dr. Wollaston, allerdings die Elektricität als das voltaische Agens annehmend, bezeichnete die chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf die Metalle als die Ursache ihrer Erregung. Die Wiederholung und Erweiterung voltaischer Experimente durch englische Physiker deckte bald den Irrthum auf, welchen Volta begangen hatte, indem er die an der Säule vorkommenden chemischen Erscheinungen übersah. Es wurde beobachtet, dass durch Combinationen von Leitern, welche nicht chemisch auf einander wirken, keine merkliche Wirkung hervorgebracht würde, dass die Wirkung der Säule stets von der Oxydation des Zinks begleitet ist, und dass die Kraft der Säule im

Digitized by Google

Allgemeinen der Kraft proportional ist, mit welcher die Platten verzehrt werden. Beobachtungen dieser Art führten Wollaston zu dem Schluss, dass der ganze Prozess mit der Oxydation des Zinks beginnt, — dass die Oxydation, oder mit andern Worten, die chemische Wirkung die Grundursache der elektrischen Erregung sey, — dass die Flüssigkeit der Kette gleichzeitig dazu diene, das Zink zu oxydiren und die erregte Elektricität zu leiten, und dass der Contact der Platten nur zur Leitung der Elektricität und zur Schliessung der Kette diene.

Die dritte Theorie ist von Davy vorgeschlagen worden und steht gewissermassen zwischen den beiden ersten in der Mitte. Er führt mehrere Versuche an, um den ursprünglich von Volta behaupteten Satz zu beweisen, dass das elektrische Gleichgewicht durch die Berührung verschiedner Substanzen gestört werde, ohne dass eine chemische Wirkung zwischen ihnen stattfände. Er erkannte jedoch mit Wollaston an, dass die chemischen Veränderungen zu den allgemeinen Resultaten gehören, und behauptete, dass, wenn sie auch nicht zur ursprünglichen Erregung des Stroms, doch zu seiner Unterhaltung und zu einer kräftigen Wirkung der Kette nöthig seyen. Die elektrischen Erregungen beginnen, so glaubte er, durch den metallischen Contact, und werden durch die chemische Wirkung unterhalten.

Die Fortschritte in der Untersuchung seitdem diese Theorieen zuerst bekannt wurden, gaben den Ansichten Wollaston's allmählig mehr und mehr Stütze, und begründeten zuletzt die gänzliche Ausschliessung der voltaischen Theorie. Der Fundamentalsatz, dass Elektricität ursprünglich durch den Contact verschiedner Substanzen erregbar sey, ist, heftig bestritten, und mit strengen Gründen geprüft, verworfen worden. Aber auch zugegeben, dass durch den Contact der Metalle eine ganz schwache Wirkung hervorgebracht wird, und das ist Alles, worüber noch gestritten werden kann, so ist sie doch sehr unbedeutend im

Digitized by Google

Vergleich mit den überraschenden Erscheinungen, welche die Kette hervorbringt.

Die von A. de la Rive in Beziehung auf diesen Gegenstand angestellten Versuche scheinen mit der voltaischen Theorie ganz unvereinbar. (An. de Ch. et Ph. XXXVIII. 220.) Dieser geistreiche Naturforscher bestreitet, dass die Richtung des voltaischen Stromes durch den Contact bestimmt sey; er zeigte, dass sie nicht von dem gegenseitigen Verhalten der Metalle zu einander, sondern von der chemischen Relation der erregenden Flüssigkeit zu denselben abhinge. Als Resultat seiner Untersuchungen stellt er den Satz auf, dass von zwei Metallen, welche die voltaische Kette bilden, dasjenige, welches von der Flüssigkeit des Apparats am stärksten angegriffen wird, in Beziehung auf das andre positiv ist. So sendet, wenn Zinn und Kupfer in eine saure Lösung gebracht werden, das erstere, welches am schnellsten verzehrt wird, einen positiven Strom durch die Flüssigkeit zum Kupfer, wie das Zink in der Kette Figur 1; wenn man aber beide Platten in eine ammomakalische Lösung taucht, welche mehr auf das Kupfer wirkt, so ist die Richtung des Stroms gerade die umgekehrte. Kupfer ist in Beziehung auf Blei in concentrirter Salpetersäure positiv, welche das erstere am stärksten oxydirt, in verdünnter Salpetersäure aber, in der sich das Blei schneller auflöst, ist das Blei positiv. Sogar zwei Kupferplatten, eingetaucht in Lösungen derselben Säure, welche aber verschiedne Stärke haben bilden eine voltaische Kette; diejenige Platte, an welcher die freiste chemische Wirkung stattfindet, gibt einen positiven Strom nach der andern hin. Ja es ist nach dem, was oben (pag. 5) gezeigt wurde, möglich, eine zusammengesetzte Kette nur aus Zinkplatten und einer Säure zu construiren, vorausgesetzt, das die eine Seite einer jeden Platte schneller oxydirt wird als die andere.

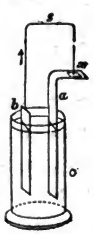
Faraday hat in den letztverflossenen Jahren entscheidende Beweise gegen die voltaische Theorie gegeben. Un-

Digitized by Google

streitig gehören seine Untersuchungen über diesen Gegenstand zu seinen ausgezeichneten Leistungen, sowohl hinsichtlich ihres Werthes für die Wissenschaft, als hinsichtlich der Geschicklichkeit, die er dabei entwickelt hat. In den Philosophical Transactions von den Jahren 1833, 1834 und 1835 ist eine Reihe von Versuchen über die voltaische Elektricität von der Feder des Hrn. Faraday enthalten, durch welche zahlreiche Irrthümer aufgedeckt und neue Ansichten von grossem Interesse begründet sind. Eine deutsche Uebersetzung jener trefflichen Originalabhandlungen befindet sich in Poggendorfs Annalen und zwar in den Bänden XXV bis XXXVI.

In Beziehung auf die gegenwärtige Frage entschied Faraday, dass metallischer Contact zur Hervorbringung voltaischer Wirkung nicht wesentlich sey, indem er eigenthümlich galvanische Erscheinungen ohne metallischen Contact hervorbrachte. Eine Zinkplatte *a* Fig. 12 etwa 8 Zoll lang und ½ Zoll breit, wurde gehörig gereinigt, und in einem rechten Winkel umgebogen. Eine Platinplatte von derselben Breite und 3 Zoll lang, war an einen Platindrath *b s x* gelöthet, dessen Endpunct *x* ein Stück schwammigen Papiers berührt, welches auf der Zinkplatte liegt, und welches mit einer Lösung von Jodkalium befeuchtet ist. Bringt man nun die Platten in ein Gefäss, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, so entsteht augenblicklich ein positiver Strom in der Richtung des Pfeils, was durch ein Galvanometer, und durch das Wasserstoffgas, welches sich an der Platte *a* entwickelt, gezeigt wird. Durch den galvanischen Strom nämlich wird das Jodkalium zerlegt; das Jod tritt an der Spitze des Drathes auf, während Kalium an der Zinkplatte *a* frei wird, das freigewordene Kalium aber zerlegt das Wasser der Lösung, und in Folge davon entwickelt sich Wasserstoff an dieser Stelle. Am kräftigsten

Fig. 12.



Digitized by Google

zeigt sich die Zersetzung, wenn das Drathende auf dem Papier von Stelle zu Stelle fortgerückt wird. Legt man ein ebenfalls mit einer Jodkaliumlösung befeuchtetes Stückchen Curcumapapier unter das andere Papier auf die Zinkplatte, so wird es durch das sich hier bildende Alkali gebräunt. Diese Zersetzungen finden in dem später folgenden Kapitel über die chemischen Wirkungen des Galvanismus ihre Erklärung; hier dienen sie nur zum Beweis, dass galvanische Wirkungen stattfinden. (Pogg. Ann. XXXV. pag. 3). Wir haben hier eine einfache Kette von derselben Construction, wie die in Fig. 1; nur mit dem Unterschiede, dass hier der metallische Contact fehlt.

Einen andern Beweis dafür, dass die elektrische Erregung unabhängig vom Contact sey hat Faraday sehr geschickt von der Erscheinung des Funkens abgeleitet, welchen man überspringen sieht, wenn die Dräthe eines Plattenpaar's bei kräftiger Wirkung in Contact gebracht werden. Der Funken wird durch den Durchgang der Elektricität durch eine dünne, die Dräthe vor der Berührung noch trennende Luftschicht hervorgebracht, und mithin beweist seine Entstehung, dass schon vor dem wirklichen Contact der Dräthe eine elektrische Erregung vorhanden gewesen seyn muss. (Faraday's 8. Reihe Pogg. Ann. Bd. XXXV. pag. 17.)

Das Arrangement Fig. 12, gut zur Feststellung eines Princips, ist zum gewöhnlichen Gebrauche nicht geeignet. Das befeuchtete Papier bei x ist ein viel schlechterer Leiter als Metall, und hindert sehr den Durchgang des Stroms, ja es wird durch dasselbe sogar ein Strom in entgegengesetzter Richtung gebildet. Wenn man die verdünnte Säure bei c entfernt, und die Zinkplatte a mit der Platinplatte in Contact bringt, so wird eine gewöhnliche einfache Kette gebildet, in welcher ein positiver Strom vom Zink durch die Jodkaliumlösung bei x und durch den Drath $a\ s\ b$ zur Platinplatte lauft. Dieser Strom ist aber in dem eben angeführten Faraday'schen Versuche so schwach im Vergleich

Digitized by Google

zu dem durch die saure Lösung erregten, dass sein Einfluss kaum wahrzunehmen ist. Wenn aber die entgegengesetzten Ströme von gleicher Stärke sind, so wird keine Wirkung erfolgen. Um dieses Aufheben weiter nachzuweisen befestigte Faraday eine Platinplatte *P* Fig. 13 parallel und nah über einer amalgamirten Zinkplatte *z;* brachte er alsdann einen Tropfen verdünnter Schwefelsäure bei *y* zwischen die Platten, die er auf der andern Seite in metallische Berührung brachte, so entstand ein positiver Strom in der Richtung der Pfeile. Bringt man aber zwischen denselben Platten die verdünnte Säure bei *x* an

Fig. 13.

Fig. 14

und bringt man sie bei P Z in metallische Berührung, so geht, wie vorher, ein positiver Strom vom Zink durch die Flüssigkeit zum Platin, er hat aber wegen der entgegengesetzten Lage der Säure eine Richtung, welche der in Fig. 13 gerade entgegengesetzt ist. Wenn man zwischen dieselben Platten Fig. 15 einen Tropfen Säure bei *x* und einen ähnlichen bei *y* anbringt, so sind die Bedingungen zur Hervorbringung zweier Ströme positiver Elektricität erfüllt, da jeder Tropfen Flüssigkeit als Substitut für die metallische Berührung wirkt, indem er den Strom leitet, welchen der andre erzeugt hat. Wenn diese Ströme einander gleich sind, so heben sie die Wirkungen gegenseitig auf, die jeder für sich hervorbringen würde; wenn sie aber ungleich sind, so hebt der stärkere Strom den schwächeren auf, wodurch jedoch die Kraft des erstern vermindert wird.

Fig. 14.

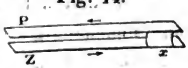
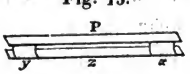


Fig. 15.



Diese in Beziehung auf die einfache Kette gemachten Betrachtungen lassen sich auch auf die Theorie der zusammengesetzten anwenden. Es sey Fig. 15 zwischen die beiden Platten bei *y* ein Tropfen verdünnter Säure gebracht, welche nur auf das Zink wirkt, bei *x* aber ein Tropfen

Digitized by Google

einer andern Flüssigkeit, die nur das Platin, nicht aber das Zink verzehrt, so wird die chemische Wirkung bei *y* einen positiven Strom vom Zink zum Platin, und bei *x* einen ähnlichen vom Platin zum Zink erzeugen. Die beiden Ströme streben sich in derselben Richtung zu bewegen, und jeder beschleunigt die Fortschritte des andern. Derselbe Fall findet bei den in Fig. 8 und Fig. 9 abgebildeten Batterieen statt. Da chemische Wirkung an dem Zink eines jeden Plattenpaars eintritt, so ist dadurch ein Streben vorhanden, eine gleiche Anzahl positiver Ströme in derselben Richtung zu bilden; die gemeinschaftlichen Wirkungen aller setzen einen Strom mit einer Kraft in Bewegung, welche nicht durch ein einziges Plattenpaar hervorgebracht werden kann. Es ist nun klar, dass die Oberflächen der Zinkplatten alle nach einer, die der Kupferplatten nach der andern Seite gerichtet seyn müssen. Ein umgekehrtes Paar strebt einen Gegenstrom zu bilden, welcher die Wirkung der übrigen schwächt. Aus demselben Princip folgt auch, dass die erregende Flüssigkeit der voltaischen Kette eigentlich nur auf das eine Metall wirken sollte; wenn das Kupfer fast eben so stark oxydirt würde, wie das Zink, so würden entgegengesetzte Ströme erregt, welche sich mehr oder weniger vollständig aufheben. Desshalb ist auch für die Construction einer Batterie Platin und Zink vortheilhafter als Kupfer und Zink, namentlich, wenn man Salpetersäure als erregende Flüssigkeit anwendet.

Gesetze der Wirkung voltaischer Ketten.

Die Physiker machen einen Unterschied zwischen Quantität und Intensität beim Galvanismus, wie bei der gewöhnlichen Elektricität. *Quantität* bezeichnet in Beziehung auf die voltaische Kette die Menge des in Bewegung gesetzten elektrischen Fluidums, unter *Spannung* oder *Intensität,*

Digitized by Google

wird aber die Kraft verstanden, mit welcher der Strom fortgeführt wird. In der unterbrochenen Kette ist ein Bestreben einen elektrischen Strom als nothwendige Bedingung der Oxydation zu bilden: es besteht zwischen der erregenden Flüssigkeit und dem Zink gleichsam ein Verlangen nach chemischer Wirkung, welches nicht anders, als durch Schliessung der Kette befriedigt werden kann. Dieses Streben oder diese Spannung ist um so grösser, je grösser die Verwandtschaft zwischen der erregenden Flüssigkeit und dem Zink ist. Salpetersäure erregt wegen ihres grossen Vermögens zu oxydiren ein grösseres Bestreben nach chemischer Wirkung und mithin auch zur Bildung elektrischer Ströme als Schwefelsäure, und diese Säure mehr als eine Salzauflösung. Ströme von hoher Spannung werden mit grösserer Heftigkeit fortgeführt als schwache, überwinden leichter die Hindernisse ihres Weges, welche von der geringen Dicke der Leitungsdräthe oder von der unvollkommenen Leitungsfähigkeit die Flüssigkeit der Batterie herrühren.

Die Intensität des Stromes eines einzelnen Plattenpaars ist veränderlich, je nachdem die Natur und Stärke der erregenden Flüssigkeit sich ändert; er erreicht aber nie eine grosse Spannung. Wenn die Platten weit von einander sind, so ist der Strom unfähig, ganz durch die sich dazwischen befindliche Flüssigkeit hindurchzudringen, und er wird dadurch sehr geschwächt; sind aber die Platten nah bei einander, so ist das beim Durchgang durch die Flüssigkeit zu überwindende Hinderniss zu gering, als dass die Spannung beträchtlich seyn könnte. Die Bedingung, welche erfüllt seyn muss, um eine hohe Intensität hervorzubringen, ist ein ausgedehnter flüssiger Leiter, durch welchen der Strom seiner ganzen Länge nach hindurch gehn muss, wie es in einer zusammengesetzten Kette der Fall ist, wo mehrere Plattenpaare auf einander folgen, die alle chemisch auf die erregende Flüssigkeit wirken und einen Strom in derselben Richtung forttreiben.

Digitized by Google

Unter diesen Umständen ist die erlangte Spannung sehr hoch. Wenn die Spannung eines galvanischen Stromes zu schwach ist um die Hindernisse seines Weges leicht zu überwinden, so geht ein Theil der Elektricität verloren und es kann desshalb auch natürlicher Weise nur eine geringere Quantität circuliren, als wenn der Strom weniger Hindernisse zu überwinden hätte, oder wenn er durch seine starke Intensität sich freie Cirkulation verschaffen könnte. In sofern wirkt also die Vermehrung der Intensität durch Vermehrung der Plattenpaare indirect auf die Vergrösserung der cirkulirenden Quantität. Faraday hat mit genügenden Gründen gezeigt, das die Quantität der Elektricität, welche durch den Schliessungsdrath einer geschlossenen zusammengesetzten Kette geht, genau der durch jede einzelne Zelle gehenden gleich ist; wenn man alle Zellen einer Kette bis auf eine wegnähme und durch einen gut leitenden Drath ersetzte, so würde die cirkulirende Quantität doch noch dieselbe seyn. Eine zusammengesetzte Kette wirkt also nicht direct zur Vergrösserung der cirkulirenden Quantität der Elektricität, sie gibt aber dem Strom eine grössere Spannung, die unter Umständen auf die eben angegebene Weise einen Einfluss auf die Quantität ausüben kann. Weiter unten bei der Betrachtung der chemischen Wirkungen der Kette werden wir auch einen theoretischen Grund dafür finden, dass die Zahl der Platten nur die Intensität, nicht aber die Quantität vermehrt.

Die Kraft der voltaischen Kette wird gewöhnlich durch die Ablenkung der Magnetnadel, welche sie hervorbringt (siehe unten „magnetische Wirkungen") oder durch ihr Vermögen chemische Zersetzungen zu bewirken, geschätzt. Bringt man über oder unter einer gewöhnlichen Magnetnadel, die sich in ihrer natürlichen Stellung befindet, einen Drath an, durch welchen ein galvanischer Strom geht, so wird die Nadel aus ihrer natürlichen Lage abgelenkt; die nähere Betrachtung des Phänomens folgt weiter unten, wir

Digitized by Google

betrachten sie hier nur als ein Maass für die Quantität der Elektricität, welche den Schliessungsdrath durchströmt. Die Ablenkung der Magnetnadel berücksichtigend hat Dr. Ritchie mehrere interessante numerische Resultate erhalten, von denen folgende die wichtigsten sind. (Phil. Trans. 1832—33.)

1) Die ablenkende Kraft eines einzelnen Plattenpaars ist gerade der Oberfläche proportional, welche mit der verdünnter Säure bedeckt ist, d. h. die Ablenkung, welche hervorgebracht wird, wenn ein Quadratzoll jeder Platte mit Flüssigkeit bedeckt ist, wird verdoppelt, wenn zwei Quadratzoll eingetaucht werden.

2) Eine Zinkplatte, welche in ein rectanguläres Gefäss von Kupfer Fig. 5 gebracht wird, lenkt die Nadel noch einmal so weit ab, als wenn die eine Seite des Zinks und die gegenüberstehende des Kupfers durch irgend einen Ueberzug vor der Wirkung der sauren Lösung geschützt wird. Durch genaue Untersuchungen fand man, dass diese verschiedenen Umstände nur einen Einfluss auf die in Bewegung gesetzte Quantität der Elektricität haben, ohne ihre Intensität zu ändern, woraus ebenso, wie aus allen andern Versuchen folgt, dass die Ablenkung der Magnetnadel von der Quantität, und nicht von der Spannung abhängig ist.

3) Die Ablenkung, welche durch ein Plattenpaar in gleich starker saurer Lösung hervorgebracht wird, ist umgekehrt der Quadratwurzel aus der Entfernung beider proportional. Dieses Gesetz ist von Professor Cumming aufgestellt worden; wenn also eine Zinkplatte nacheinander 1, 4 und 9 Zoll von einer Kupferplatte angebracht wird, so verhalten sich die ablenkenden Kräfte wie 3 : 2 : 1, d. h. sie ist für eine Entfernung von einem Zoll etwa doppelt so gross als für vier, und dreimal so gross als für neun Zoll Entfernung.

4) Dasselbe Gesetz ist auch von den Professoren Cumming und Barlow für die Länge des Drathes, welcher das

Digitized by Google

Zink mit dem Kupfer verbindet, abgeleitet worden. Wenn bei übrigens gleichen Umständen die Länge des Leitungsdrathes von vier Fuss bis zu einem variirt, so ändert sich die ablenkende Kraft im Verhältniss von 1:2. Dr. Ritchie fügt noch hinzu, dass bei Anwendung kurzer Metalldräthe die ablenkende Kraft sich umgekehrt wie die Quadratwurzel aus der Länge der ganzen Kette, d. h. der flüssigen und festen Leiter zusammen, verhalte. Der Drath muss bei Versuchen über diesen Gegenstand einfach, und nicht gewunden seyn, wie bei Schweiggers Multiplicator. Auch müssen dicke Dräthe, am besten Kupferdräthe, angewendet werden, damit sie im Stande sind alle entwickelte Elektricität frei fortzupflanzen.

Ritchie hat übereinstimmend mit der allgemeinen Beobachtung gefunden, dass die ablenkende Kraft der zusammengesetzten Kette nicht wächst, wenn die Zahl der Plattenpaare zunimmt. Ein einziges Plattenpaar, durch gut leitende Flüssigkeit erregt, und durch einen dicken Leitungsdrath geschlossen, welcher fähig ist, die ganze Quantität der erregten Elektricität zu leiten, lenkt die Nadel eben so weit ab, wie eine Batterie, die aus mehreren Plattenpaaren von derselben Grösse besteht. Diess ist abermals ein Beweis, dass der Haupteinfluss, welchen die Zahl der Plattenpaare ausübt, auf Vermehrung der Intensität und nicht der Quantität gerichtet ist. Die herrschende Meinung, dass die Magnetnadel durch die grössere Intensität nicht afficirt wird, wird durch Faraday's Versuche vollkommen bestätigt. Er hat diesen Satz auf eine sehr sinnreiche Weise auch durch gewöhnliche Maschinen-Elektricität bestätigt. Er lud eine aus 8 Leidner Flaschen bestehende Batterie mittelst 30 Umdrehungen einer kräftigen Elektrisirmaschine, und bemerkte sich, wie hoch dabei ein mit der innern Belegung in Verbindung stehendes Henley'sches Elektrometer stand. Er entlud nun die Batterie durch einen über die Magnetnadel geleiteten Drath, indem er um das Ueberschlagen des Fun-

Digitized by Google

kens zu vermeiden, eine feuchte Schnur in die Kette einschaltete. Die Magnetnadel wurde bis zu einem gewissen Grade abgelenkt. Nun fügte er den oben erwähnten 8 Flaschen noch 7 hinzu und lud die nun aus 15 Flaschen bestehende Batterie abermals durch 30 Umdrehungen, so dass also die Quantität dieselbe war; die Spannung war jedoch nicht dieselbe, denn das Elektrometer stand nur halb so hoch als vorher; dessen ungeachtet wurde bei der Entladung dieselbe Ablenkung erhalten wie im ersten Fall. Lud er die Batterie mit 60 Umdrehungen, so war die Ablenkung der Nadel die doppelte. Das Ueberschlagen der Funken muss bei diesem Versuche desshalb vermieden werden, weil dadurch unregelmässige und störende Wirkungen hervorgebracht werden (Faraday's 3. Reihe Poggendorfs Annal. Bd. XXIX.) Die Magnetnadel kann demnach als ein genaues Maas der Quantität der cirkulirenden Elektricität, ohne Rücksicht auf ihre Spannung betrachtet werden.

Chemische Zersetzungen hängen von der Quantität und Intensität zugleich ab, und geben ein Kriterium für den Zuwachs an Spannung, welche die zusammengesetzte Kette durch die Zunahme der Zahl der Plattenpaare erhält. Die Quantität des Wasserstoffgases, welches durch eine zusammengesetzte Kette in einer gegebenen Zeit entwickelt wird, verändert sich nicht im einfachen Verhältniss der Zahl der Plattenpaare; d. h. das Volumen des entwickelten Gases ist nicht das doppelte, wenn die Anzahl der Platten die doppelte ist. Die Wirkung wächst in einem geringen Verhältniss, weil die Hindernisse, welche der Strom zu überwinden hat, mit der Länge der Kette wachsen; Ritchie nimmt an, sie verhalte sich wie die Quadratwurzel aus der Zahl der Platten, so dass, wenn die Anzahl von 1 zu 4 wächst, die Menge des entwickelten Gases sich wie 1 : 2 verhält.

Bei der Abhandlung der vorhergehenden theoretischen Fragen ging ich immer von der Annahme über Elektricität

Digitized by Google

aus, dass sie irgend ein unabhängiges Princip sey, fähig eines raschen Uebergangs von einem Körper zu einem andern; ich habe desshalb angenommen, dass der Zustand eines voltaischen Leitungsdrathes ganz demjenigen eines Drathes ähnlich ist, welcher den Boden mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, oder die innere und äussere Belegung einer Leidner Flasche miteinander verbindet, nur mit dem Unterschied, dass sich der galvanische Strom wegen seiner geringen Spannung und wegen des eingeschobenen unvollkommenen Leiters weit langsamer bewegt. Einige nahmen an, dass das, was man einen elektrischen Strom nennt, nicht ein wirklicher Uebergang, sondern eine unter den Molekülen des Leiters fortschreitende Induction sey, welche ihn durchläuft. Andre, welche eine unabhängige Materialität der Elektricität läugnen, wollen sie den Bewegungen einer vibrirenden Materie zuschreiben, etwa so wie die optischen Phänomene durch die Undulationstheorie erklärt werden. Was man aber auch für eine Meinung über die Elektricität annehmen mag, so scheint es doch nach Faraday's Versuchen über die Identität der voltaischen und der gemeinen Elektricität nothwendig anzunehmen, dass die Natur eines voltaischen und eines elektrischen Stromes im wesentlichen dieselbe sey.

Wirkungen des Galvanismus.

Wirkung der voltaischen Kette auf das Elektrometer. Wenn eine Zinkplatte und eine Kupferplatte in verdünnte Säure getaucht werden, und der an der erstern befestigte Drath mit einem Goldblatt-Elektrometer in Berührung gebracht wird, welches empfindlich genug ist, so zeigen die Blättchen eine Divergenz mit negativer Elektricität; prüft man den Drath der Kupferplatte auf ähnliche Weise, so wird eine Divergenz mit positiver Elektricität erhalten.

Digitized by Google

Die Wirkung ist bei einem einzigen Plattenpaare so schwach, dass sie kaum bemerkbar ist, bei einer Batterie von mehreren Paaren aber ist sie ganz bestimmt, wenn auch noch schwach. Es konnte diess wohl erwartet werden, weil die entgegengesetzt elektrisirten Leiter in dieselbe Flüssigkeit eingetaucht, sich nothwendig neutralisiren würden, wenn nicht ihre Intensität zu schwach wäre, um durch die Flüssigkeit hindurchzudringen. Das Haupterforderniss, dass die Batterie eine grosse Divergenz am Elektrometer gibt, ist eine grosse Anzahl von Plattenpaaren. Kleine Platten von einem Quadratzoll Oberfläche sind in dieser Beziehung eben so wirksam wie grössere. Die freie Elektricität der Dräthe ist allem Anschein nach eine Wirkung der Spannung in der Kette, und ist ihr proportional, obgleich die Art, auf welche die Wirkung stattfindet, schwer zu erklären ist. Sie rührt von einem gestörten elektrischen Gleichgewicht in der Zinkplatte her, deren chemische Beziehung zur Säure, dieses Metall auf Kosten des angelötheten Drathes positiv macht, während die Kupferplatte durch das gegenüberstehende Zink auf Kosten ihres dadurch positiv werdenden Drathes negativ wird.

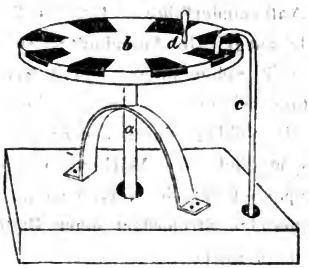
Wirkungen des Galvanismus auf die Nerven. Eine Leidner Flasche kann durch einen jeden Drath einer galvanischen Batterie geladen werden, vorausgesetzt, dass sie eine grosse Quantität von Elektricität entwickelt, die zugleich eine hohe Spannung hat, wie diess bei einer aus vielen vierzölligen Plattenpaaren bestehenden Batterie der Fall ist, die durch eine verdünnte Säure erregt wird. Man braucht zu diesem Zwecke auch das eine Drathende nur mit der innern, das andre mit der äussern Belegung der Flasche eine kurze Zeit lang in Berührung zu bringen.

Bringt man mittelst der Hände, die man zuvor etwas anfeuchten muss, die Schliessung einer aus mehreren Plattenpaaren bestehenden Batterie hervor, so spürt man einen Schlag, welcher mit dem der Leidner Flasche viel Aehn-

Digitized by Google

liches hat. Bei genauerer Beobachtung der Wirkungen der galvanischen Batterie auf die Nerven sind drei Momente zu unterscheiden. Zuerst ein Schlag bei der Schliessung der Kette, dann die fortdauernde Wirkung des Stroms, welcher rasch aufeinander folgende Zuckungen hervorbringt, und endlich ein abermaliger Schlag bei der Trennung der Kette. Der Schliessungs- und Trennungsschlag ist ungleich empfindlicher als die fortdauernde Stromwirkung, welche bei Batterieen, die nicht aus vielen Plattenpaaren bestehn, wenig merklich ist. Darauf gründet sich die ausserordentliche Wirkung des von Herrn Dr. Neeff in Frankfurt a. M. erfundenen *Blitzrades*, welches er im Herbst 1835 bei der Versammlung der Naturforscher in Bonn vorzeigte, und welches in Poggendorfs Annalen XXXVI. Band. pag. 352 u. f. beschrieben ist. Die Einrichtung desselben ist folgende: eine horizontale Kupferscheibe Fig. 16 ist auf einer vertikal

Fig. 16.



stehenden kupfernen Axe *a* befestigt, die durch einen Messingbügel, welcher auf einem Brett von trocknem Holze befestigt ist, in ihrer Richtung erhalten wird. In der Mitte hat das Brett eine Vertiefung, welche mit Kupfer ausgefüttert ist, in der die unten konisch zugespitzte Axe aufsitzt, so dass sie leicht umgedreht werden kann. Wenn die Einrichtung so getroffen ist, so lässt sich die horizon-

Digitized by Google

tale Kupferscheibe, mittelst eines auf ihr befestigten Knöpfchens rasch in ihrer Ebne umdrehen. Am Rande der Scheibe sind Ausschnitte aus dem Kupfer gemacht, die mit Ebenholz oder einer andern isolirenden Substand ausgefüllt sind. Ein starker Kupferdrath oder ein Kupferstreifen, ist in einer kleinen Vertiefung des Brettes befestigt und oben so umgebogen, dass er die Kupferscheibe am Rande von oben berührt. Giesst man nun Quecksilber in die erwähnten Vertiefungen des Brettes, und taucht man alsdann den einen Pol der Batterie in die eine, den andern in die andre, so sieht man leicht, dass die Kette geschlossen ist, wenn das umgebogene Ende des Kupferdrathes *c* die Scheibe gerade auf einer Kupferbrücke berührt; hat jedoch die Scheibe eine solche Stellung, dass der Drath *c* auf Ebenholz aufliegt, so ist die Kette unterbrochen. Durch rasches Umdrehn der Scheibe folgen Schliessungen und Trennungen sehr schnell auf einander. Lässt man den Strom durch den Körper gehn so spürt man die Schliessungs- und Trennungsschläge in sehr rascher Aufeinanderfolge. Dr. Neefs Blitzrad hat 36 mit Ebenholz ausgelegte Ausschnitte, so dass man bei jeder Umdrehung 36 Schliessungs- und 36 Trennungsschläge fühlt, und mithin bei einigermassen rascher Umdrehung in einer Sekunde 160 Schläge durch den Körper gehn können. Dadurch ist es möglich, die Wirkung einer Batterie von wenigen Plattenpaaren auf die Nerven so zu erhöhen, dass sie dem fortdauernden Stromeffect einer Batterie von sehr vielen Plattenpaaren gleich ist.

Licht und Wärmeentwickelung durch Galvanismus. Wenn die Dräthe einer kräftigen Batterie nahe zusammengebracht werden, so sieht man einen Funken zwischen ihnen überschlagen. Die Helligkeit dieser galvanischen Funken lässt sich ausnehmend erhöhen, wenn man die Dräthe an der Stelle, wo er überspringen soll, mit Quecksilber überzieht. Dieser vermehrte Glanz rührt aber nicht von einer directen Vergrösserung des Funkens, sondern von dem theil-

Digitized by Google

weisen Verbrennen des Quecksilbers her. Sind die Enden der Dräthe, welche einander sich nähern, zugespitzt, so werden die feinen Spitzen durch den Uebergang des Stroms in's Glühen gebracht, wodurch der überspringende Funke ebenfalls heller erscheint.

Lässt man einen galvanischen Strom durch feine Metalldräthe oder durch dünne Stückchen Reissblei, oder durch dichte Holzkohle hindurchgehn, so werden sie dadurch stark erhitzt. Die Dräthe der strengflüssigsten Metalle können auf diese Weise geschmolzen werden; an den Spitzen der Holzkohle erscheint dabei ein blendend weisses Licht, welches eben so stark, wenn nicht noch stärker ist, als das beim Verbrennen des Phosphors in Sauerstoff entwickelte. Dieses Phänomen findet auch in solcher Luft statt, welche durchaus keinen Sauerstoff enthält, ja sogar auch unter Wasser, woraus klar hervorgeht, dass es nicht von einer Verbrennung herrührt. Wenn die Schliessung der Kette durch Metallblättchen hervorgebracht wird, so verbrennen sie mit lebhaftem Funkensprühen. Goldblättchen verbrennen mit weissem Licht, welches etwas ins Bläuliche spielt, und geben ein dunkelbraunes Oxyd. Das Licht, welches bei Verbrennung des Silbers entwickelt wird, ist ausserordentlich brillant und von smaragdgrüner Farbe. Kupfer gibt ein blauweisses Licht mit rothen Funken untermischt; Blei ein prächtiges Purpurlicht, und Zink ein glänzendes weisses Licht, welches ins Blaue spielt und roth begränzt ist. (Singer.)

Um Metallblättchen zu verbrennen und Dräthe zu schmelzen, ist nur eine grosse Quantität von Elektricität nöthig. Diese Erscheinungen rühren daher, dass der Strom durch diese Körper nur schwierig hindurch geht; da diese Substanzen aber sehr gute Leiter sind, so kann diess nur dann stattfinden, wenn die Quantität des durchgehenden Stroms in Vergleich zu der geringen Ausdehnung des Leiters, durch welchen er hindurch zu gehn hat, zu gross ist. Eine starke Säure muss bei diesen Versuchen zur Erregung

Digitized by Google

angewandt werden; eine kräftige, wenn auch kurz dauernde Einwirkung ist vortheilhafter, als eine schwächere länger dauernde. Eine Mischung von 10 bis 12 Theilen Wasser und einem Theil Salpetersäure ist sehr brauchbar zu diesem Zwecke. Grösserer Oekonomie wegen kann man auch eine Mischung von einem Theil Salpetersäure und zwei Theilen Schwefelsäure statt der reinen Salpetersäure anwenden. Die grosse Batterie des M. Children, mit welcher mehrere Fuss Platindrath geschmolzen werden konnten, hatte eine so schwache Spannung, dass sie keine Wirkung auf das Goldblattelektrometer gab; der Schlag, den sie gab, wenn man sie mit befeuchteten Händen schloss, war kaum merklich; eine Leidner Flasche konnte man mit ihr nicht laden, eben so wenig chemische Zersetzungen durch sie hervorbringen.

Unter den Wirkungen des Galvanismus sind keine so überraschend und so wichtig, wie die chemischen und magnetischen; diese sollen desshalb in besondern Kapiteln näher betrachtet werden. Da die Kraft, welche die Magnetnadel ablenkt, nur von der Quantität abhängt, deren Grösse genau durch den Grad der Ablenkung gemessen wird, so ist zu diesen Versuchen nur ein einziges Plattenpaar von grosser Oberfläche nöthig; für chemische Zersetzungen aber, welche Quantität und Intensität zugleich erfordern, muss man zusammengesetzte Batterieen anwenden.

Die meisten der eben beschriebenen Wirkungen des Galvanismus sind jenen der gewöhnlichen Elektrisirmaschine so ähnlich, dass es unmöglich ist, beide Reihen von Erscheinungen neben einander zu betrachten ohne sie auch demselben Agens zuzuschreiben. Die Frage über diese Identität beschäftigte schon früher die Aufmerksamkeit Wollastons, der einige sehr schöne und entscheidende Versuche machte um zu beweisen, dass die chemischen Wirkungen des Galvanismus auch durch einen von der Elektrisirmaschine

Digitized by Google

ausgehenden Strom vollständig charakteristisch hervorgebracht werden können (Phil. Trans. 1801). Dieser Gegenstand ist aufs neue von Faraday untersucht worden, der die Wirkungen der Elektricität und des Galvanismus einer genauen und kritischen Untersuchung unterwarf. Er gab vollständige Beweise von der zersetzenden Kraft des elektrischen Stroms der Elektrisirmaschine, sowohl indem er die Experimente Wollastons wiederholte, als auch indem er neue ersann. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom der Maschine, von der wir schon gehört haben, ein Versuch, den in der That Colladon kurz vorher schon angestellt hatte, hat die Evidenz vollständig gemacht. Diese Untersuchungen bilden den Gegenstand der dritten Reihe der Faraday'schen Untersuchungen, welche schon oben erwähnt wurde, und welche im XXIX. Band von Poggendorff's Annalen übersetzt ist. Diese Untersuchungen haben einen merkwürdigen Contrast hinsichtlich der Quantität der Elektricität gezeigt, welche bei der Hervorbringung voltaischer und gewöhnlich elektrischer Phänomene wirksam ist. Folgender Versuch diente Faraday zur Ausmittelung dieses merkwürdigen Unterschiedes. Er tauchte einen Drath von Platin und einen Drath von Zink, deren jeder $^1/_{18}$ Zoll dick war, $^5/_{16}$ Zoll weit von einander, $^5/_8$ Zoll tief in eine verdünnte Säure, welche aus einem Tropfen Vitriolöl und 4 Unzen Wasser bestand, ein; die Schliessungsdräthe dieser kleinen Kette brachte er mit einem Galvanometer in Verbindung, und fand, dass ein Eintauchen, welches nur $^8/_{150}$ einer Minute dauerte, genau dieselbe Wirkung auf die Magnetnadel hervorbrachte, wie die oben betrachtete Entladung der mit 30 Umdrehungen der Maschine geladne Batterie. Diese kleine Kette entwickelt also in $^8/_{150}$ Minuten eine eben so grosse Quantität von Elektricität, als durch 30 Umdrehungen einer kräftigen Maschine, welche hinreichen, eine Batterie von 8 Leidner Flaschen zu laden. Daraus lässt sich schliessen, dass die Quantität der Elektricität,

Digitized by Google

welche nöthig ist, um einen einzigen Gran Wasser zu zersetzen, kaum durch 800,000 Umdrehungen der Scheibe hervorgebracht wird, also der eines starken Blitzschlags gleich ist. Diese Behauptung, so überraschend wie sie auch seyn mag, ist auf die angeführte Weise vollkommen überzeugend bewiesen.

Chemische Wirkungen des Galvanismus.

Die chemische Wirksamkeit des voltaischen Apparates, welche den Chemikern ein sehr kräftiges Mittel zu Zersetzungen bietet, wurde bald nach der Erfindung desselben von den Herrn Carlisle und Nicholson entdeckt. Wasser war die erste Substanz, welche zersetzt wurde. Wenn zwei Gold- oder Platindräthe mit den entgegengesetzten Enden einer Batterie verbunden und ihre Enden in ein und dasselbe Gefäss mit Wasser eingetaucht werden, ohne dass sie sich berühren, so entbindet sich Wasserstoffgas am negativen, Sauerstoffgas am positiven Drathe. Sammelt man die Gase bei ihrem Entweichen in zwei getrennten Glasröhren, so findet man, dass sie ganz rein sind, und dass gerade zwei Maastheile Wasserstoffgas entwickelt werden, während sich ein Maastheil Sauerstoffgas entbindet. Wenn man Dräthe von einem leichter oxydirbaren Metall anwendet, so ist das Resultat etwas anders; das Wasserstoffgas erscheint wie gewöhnlich am negativen Drathe, das Sauerstoffgas aber verbindet sich anstatt frei zu werden mit dem Metall, und überzieht es mit Oxyd.

Diese wichtige Entdeckung veranlasste mehrere geschickte Experimentatoren, ähnliche Versuche zu machen. Andre zusammengesetzte Körper, wie Säuren und Salze wurden der Wirkung des Galvanismus ausgesetzt und zerlegt, das eine Element erschien immer auf der einen Seite der Batterie, das andre an dem entgegengesetzten Ende. Man bemerkte eine genaue Gleichförmigkeit in den Um-

Digitized by Google

ständen, welche die Zersetzung begleiteten. So wurde bei der Zersetzung des Wassers und andrer zusammengesetzter Körper derselbe Bestandtheil stets auf derselben Seite der Batterie ausgeschieden. Die Metalle, die meisten brennbaren Substanzen, die Alkalien, die Erden und die Oxyde der eigentlichen Metalle fand man an dem negativen Drathe, während Sauerstoff, Chlor und die Säuren sich am positiven Pol sammelten.

Bei der Umgestaltung dieser Experimente fand Davy, dass wenn die Leitungsdräthe in zwei getrennte Gefässe mit Wasser eingetaucht werden, deren Flüssigkeit durch eine feuchte Faser von Kattun oder Asbest in Verbindung steht, dass auch in diesem Falle die Gase in der gewöhnlichen Ordnung ausgeschieden werden, d. h. Wasserstoff in dem einen Gefäss, Sauerstoff in dem andern, gerade so als wenn die beiden Dräthe in ein und dasselbe Gefäss mit Flüssigkeit eingetaucht worden wären. Diese sonderbare Thatsache und ähnliche von Hisinger und Berzelius gemachte Beobachtungen, veranlassten ihn auf dieselbe Weise auch mit andern zusammengesetzten Körpern zu operiren, und gab Veranlassung zu den berühmten Untersuchungen über das Ueberführen chemischer Substanzen aus einem Gefäss in das andre (Phil. Trans. 1807.) Bei diesen Versuchen wurden zwei Achatnäpfchen N und P angewandt, von denen das erstere mit dem negativen, das letztere mit dem positiven Drath in Verbindung stand, und die unter sich selbst durch befeuchteten Asbest verbunden waren. Schüttete man eine Auflösung von schwefelsaurem Natron oder Kali in das Gefäss N, destillirtes Wasser aber in das Gefäss P, so ging die Säure wirklich in das letztere über, während die Flüssigkeit im erstern, die doch anfangs neutral war, entschieden alkalisch wurde. Das Verfahren wurde umgekehrt, indem die Salzlösung in das Gefäss P, das destillirte Wasser aber in das Gefäss N gebracht wurde; das Alkali ging in das negative Näpfchen über, und hinterliess freie

Digitized by Google

Säure in dem andern. Dass die Säure in dem ersten Versuch, und die alkalische Basis in dem letztern wirklich längs des Asbestes übergegangen war, schien klar; in einem Falle, wo man salpetersaures Silberoxyd statt des schwefelsauren Kalis angewandt hatte, überzog sich der in N eingetauchte Asbest mit einem metallischen Häutchen. Ein ähnliches Ueberführen wurde hervorgebracht, indem destillirtes Wasser in die Gefässe N und P gegossen, und ein drittes Näpfchen mit der Salzlösung zwischen beide gestellt, und durch befeuchteten Asbest mit jedem derselben verbunden wurde. In kurzer Zeit erschien die Säure des Salzes in P, das Alkali in N. Bei der Verfolgung dieser Untersuchungen machte Davy die grosse Entdeckung von der Zusammensetzung der Alkalien und Erden, die man bis dahin für einfache Stoffe gehalten hatte. (Phil. Trans. 1808.) Die Reduction der Alkalien lässt sich auf mehrere Arten bewerkstelligen, von denen wohl die folgenden die geeignetsten seyn mögten. Man legt ein dünnes, schwachbefeuchtetes Stück Alkali auf eine Platin- oder Silberplatte, die mit dem negativen Ende der Batterie verbunden ist, und berührt es mit einem Platindrath, welcher den positiven Pol der Batterie bildet. Da, wo das Alkali von dem Drathe berührt wird, schmilzt es, und an der negativen Fläche scheiden sich kleine, metallisch glänzende Kügelchen aus, die sich aber bald wieder oxydiren. Um diess zu verhüten, muss man sie so schnell als möglich in gereinigtes Steinöl bringen. Pepys hat einen Apparat vorgeschlagen, um die Zersetzung unter Steinöl zu bewerkstelligen. (Phil. Mag. XXXI. 241.) Eine andre Methode ist die mittelst Quecksilber; man bringt die Platte, auf welcher das Alkali liegt, mit dem positiven Pol in Verbindung, macht in das befeuchtete Alkali eine Höhlung, die man mit Quecksilber füllt, in welches man das negative Drathende eintaucht (dieses muss von Eisen seyn, damit es sich nicht amalgamirt). Das reducirte Metall verbindet sich mit dem Quecksilber zu

Digitized by Google

einem Amalgam, welches bald fest wird. Man muss dieses Amalgam gleichfalls unter Steinöl aufbewahren.

Diess sind nach den früheren Experimenten die Grundphänomene elektrochemischer Zersetzung. Man nahm die Darstellung der Erscheinung wie sie oben angedeutet wurde, als hinlänglich gerechtfertigt, für richtig an, und so passirten diese Meinungen bis auf unsre Zeiten ohne Verdacht und genauere Prüfung. Faraday aber hat bei seiner Revision dieses Theils der Naturwissenschaften nicht nur manche neue Materie hinzugefügt, sondern auch gezeigt, dass mehrere Punkte, die man bisher als Fundamentalsätze betrachtet hatte, ganz falsch seyen. Bevor ich jedoch diese Resultate beschreibe, will ich einige neue Ausdrücke erklären, welche Faraday bei dieser Gelegenheit einführte. Wenn ein zusammengesetzter Körper durch Galvanismus zersetzt werden soll, muss er nothwendig flüssig seyn, und ein elektrischer Strom muss durch ihn hindurchgehn, was leicht dadurch bewirkt wird, dass man die Enden zweier Metalldräthe, die mit der voltaischen Kette in Verbindung sind, in die Flüssigkeit eintaucht. Diese Drathenden werden gewöhnlich *Pole* genannt; man glaubte nämlich, dass diese Drathenden anziehende und abstossende Kräfte gegen die Elemente des zu zersetzenden Körpers ausübten, deren Folge die Zersetzung sey; man legte ihnen also ähnliche anziehende und abstossende Kräfte bei, wie sie an den Polen der Magnete beobachtet werden, und daher denn auch der Name *Pole;* man nannte den einen Pol *positiv,* den andern *negativ,* jenachdem sie das Elektrometer mit positiver oder negativer Elektricität afficirten. Faraday zeigte nun aber, dass diese Pole keine Attractiv- und Repulsivkraft haben, und dass sie nur als Wege oder Eingänge für den Strom wirken; er nennt sie desshalb *Elektroden* von ἠλεκτρον und ὁδος der Weg. Die Elektroden sind Oberflächen, entweder von Luft, Wasser, Metall oder irgend einer andern Substanz, welche dazu dienen, einen elektrischen Strom in die

Digitized by Google

zu zerlegende Flüssigkeit hinein, oder aus derselben heraus zu führen. Die Oberflächen dieser Flüssigkeit, welche in unmittelbarer Berührung mit den Elektroden sind, und an welchen die ausgeschiednen Elemente erscheinen, nannte er *Anode* und *Kathode*. Wenn der Magnetismus der Erde, wie man glaubt, von elektrischen Strömen herrührt, welche die Erde umkreisen, so müssen wir, wie wir später sehen werden, zur Erklärung der Erscheinung annehmen, dass ein Strom positiver Elektricität in der Richtung der scheinbaren Bewegung der Sonne, d. h. von Osten nach Westen sich bewege. Nehmen wir nun an, dass die elektrischen Ströme, welche eine Flüssigkeit zersetzen, sich parallel den elektrischen Strömen der Erde bewegen, so wird der positive Strom am östlichen Ende der Flüssigkeit in dieselbe eintreten, desshalb heisst diese Oberfläche *Anode* (von ανα aufwärts und ὁδος der Weg, der Weg von Sonnenaufgang.) Die Anode ist das negative Ende der zu zersetzenden Flüssigkeit, wo Chlor, Sauerstoff, Säuren u. s. w. entwickelt werden. Die Gränzfläche hingegen, an welcher der positive Strom die Flüssigkeit verlässt, heisst *Kathode* (von κατα hinab und ὁδος, der Weg zum Sonnenuntergang); an der Kathode werden die Metalle, die Alkalien und die Basen überhaupt aus den zu zersetzenden Körpern ausgeschieden.

Einen zusammengesetzten Körper *elektrolysiren* heisst ihn durch die directe Wirkung des Galvanismus zersetzen; diess Wort kommt her von ηλεκτρον und λυω, auflösen. Ein *Elektrolyt* ist ein zusammengesetzter Körper, welcher durch einen elektrischen Strom zersetzt werden kann; z. B. Wasser, schwefelsaures Natron u. s. w. sind Elektrolyte, Schwefelsäure hingegen ist, wie wir später sehn werden, kein Elektrolyt. Die Elemente eines Elektrolyt's nennt Faraday *Jonen*, (Gänger, von ἰον gehend.) *Anionen* (Aufgänger) sind solche Jonen, welche an der Anode erscheinen; es sind diejenigen Bestandtheile der Körper, welche man gewöhnlich die elektronegativen nennt, wie Sauerstoff, Chlor

Digitized by Google

und Säuren. Die elektropositiven Substanzen, als Wasserstoff, Metalle, Alkalien u. s. w., welche an der Kathode erscheinen, sind *Kationen* (Niedergänger) (Faraday's 7. Reihe, Pogg. Annal. Bd. XXXIII. pag. 301.) Was man auch von der Nothwendigkeit einiger dieser Ausdrücke halten mag, so sind doch die Benennungen: Elektrode, elektrolysiren und Elektrolyt, allgemein angenommen.

Die vorzüglichsten Thatsachen, welche Faraday nachwies, sind in den folgenden Sätzen zusammengefasst.

1) Nicht alle zusammengesetzte Körper sind, der bisherigen Ansicht widersprechend, Elektrolyte, d. h. nicht alle sind durch einen elektrischen Strom direct zerlegbar. Bei Aufstellung dieser Behauptung ist es nöthig, primäre und sekundäre Zerlegung zu unterscheiden (Faraday's 7. Reihe, Pogg. Ann. Bd. XXXIII. pag. 433.) Wasser ist ein Elektrolyt, da Wasserstoff an der negativen, Sauerstoff an der positiven Elektrode frei wird. Eine Lösung von Chlorwasserstoffsäure ist ebenfalls ein Elektrolyt, da sie in Chlor und Wasserstoff zerlegt wird. Salpetersäure, Schwefelsäure und Ammoniak dagegen sind keine Elektrolyte, weil sie nur durch secundäre Wirkung zerlegt werden können. Unterwirft man z. B. Salpetersäure der voltaischen Action, so wird das Wasser der Lösung elektrolysirt, und sein an der negativen Elektrode ausgeschiedenes Wasserstoffgas zersetzt die Salpetersäure, indem Wasser reproducirt und salpetrige Säure gebildet wird. So vereinigt sich bei einer Auflösung von Ammoniak der Sauerstoff des zerlegten Wassers an der positiven Elektrode mit dem Wasserstoff des Ammoniaks, und Stickstoffgas wird entwickelt. Viele secundäre Wirkungen werden auf ähnliche Weise hervorgebracht, namentlich wenn man wässrige Lösungen anwendet, weil die getrennten Elemente im Augenblick ihres Entstehens einander dargeboten werden, was für ihre wechselseitige chemische Einwirkung besonders vortheilhaft ist; in manchen Fällen sind es die gewöhnlich

Digitized by Google

metallischen Elektroden selbst, welche chemisch angegriffen werden. Durch schwache secundäre Wirkungen dieser Art, welche durch sehr schwache Ströme hervorgebracht werden, hat Becquerel mehrere zusammengesetzte Körper in krystallinischer Form hervorgebracht, welche den Mineralien analog sind. Er füllte z. B. die Biegung einer U-förmig gebogenen Glasröhre mit feuchtem Sand, goss dann in den einen Schenkel schwefelsaures Kupfer, in den andern eine Auflösung von Kochsalz und verband alsdann die Flüssigkeiten beider Schenkel durch einen Kupferstreifen, wodurch eine einfache Kette aus einem Metall und zwei Flüssigkeiten gebildet wird. Das Ende, welches in die Lösung des Kupfervitriols eingetaucht ist, überzieht sich allmählig mit Kupfer, an dem andern Ende setzt sich eine Doppelchlorverbindung von Kupfer und Natrium in kleinen Tetraedern krystallisirt ab. (Ann. de Ch. et de Phys. XLI. 26.) Auf ähnliche Art brachte Becquerel noch andre Verbindungen hervor, von denen die Bildung von krystallisirtem Schwefelblei besonders interessant ist. (Ann. de Ch. et de Phys. XLIII. p. 105; Pogg. Annal. XXXI. p. 46.)

2) Die meisten Salze, welche man untersucht hatte, waren anscheinend ohne Beziehung auf die Verhältnisse ihrer Zusammensetzung, in Säuren und Oxyde zerlegbar. Bei Körpern, die nur aus zwei Elementen zusammengesetzt sind, hat jedoch das Verhältniss der Zusammensetzung einen wesentlichen Einfluss, welcher bisher ganz übersehen worden war. *) Chlorwasserstoffsäure und geschmolzene metallische Protochloride, so wie die Chloride von Blei und

*) Die Beschränkung des Satzes, dass die Verhältnisse der Zusammensetzung nur bei binären Verbindungen einen Einfluss ausüben, scheint Berzelius (Jahresbericht 15r Jahrg. pag. 38) ganz übersehn zu haben, indem er als Einwand die Zerlegbarkeit einer Lösung von zweifach schwefelsaurem Kali anführt. Auf Salze hat Faraday seine Behauptung nicht ausgedehnt.

Digitized by Google

Silber, und Protochlorid von Zinn werden leicht zersetzt, während Bichlorid von Zinn und andre Perchloride der Zerlegung widerstehn. Alle Substanzen, welche aus einem Aequivalent des einen Elements und aus zwei oder mehreren Aequivalenten des andern Elements bestehen, sind keine Elektrolyte. *In die Klasse der Elektrolyte gehören nur solche zusammengesetzte Körper, bei welchen immer ein Atomgewicht des einen Elements mit einem Atomgewicht des andern verbunden ist.* Das ist der Grund, warum Schwefelsäure, Salpetersäure und Ammoniak nicht unmittelbar durch Galvanismus zerlegbar sind, denn Schwefelsäure z. B. besteht aus 1 Atom Schwefel und 3 Atomen Sauerstoff, die Salpetersäure aus 2 Atomen Stickstoff und 5 Atomen Sauerstoff, Ammoniak aus 1 Atom Stickstoff und 3 Atomen Wasserstoff. Dieses Prinzip gibt ein sehr wichtiges Mittel an die Hand, um zu untersuchen, ob ein aus zwei Elementen zusammengesetzter Körper aus einfachen Aequivalenten bestehe oder nicht; Wasser, Jodkalium u. s. w., welche wegen ihrer leichten Zersetzbarkeit merkwürdig sind, können demnach wahrhaft binäre Verbindungen genannt werden. (Faraday's 7. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXIII. pag. 498.)

Man hat gefunden, dass diejenigen Elemente, welche durch die stärksten chemischen Verwandschaften an einander gebunden sind, am leichtesten durch einen galvanischen Strom getrennt werden. Das Wasser und die oben angeführten Chloride, welche in flüssigem Zustande sehr leicht elektrolysirt werden, und deren Elemente gewiss durch kräftige Verwandtschaft aneinander gebunden sind, liefern treffende Beispiele, während andre Körper, wie z. B. die Gläser, deren Elemente nur durch schwache Verwandtschaft zusammengehalten werden, nur sehr schwierig ihre Elemente ausgeben. (Faraday's 7. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXIII. p. 307.)

3) Es ist behauptet worden, dass die meisten Elemente Jonen seyen und es ist wohl anzunehmen, dass sie es auch

Digitized by Google

wirklich alle sind, obgleich es von mehreren wichtigen Elementen, wie Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor, Bor, Aluminium und Silicium noch nicht nachgewiesen werden konnte, dass sie wirklich Jonen seyen. Diess rührt daher, dass es sehr schwer hält, diese Elemente in Zusammensetzungen zu erhalten, welche für die elektrolytische Wirkung passend sind.

4) Ein einfaches Jon, d. h. ein Jon, welches nicht in Verbindung mit einem andern ist, hat kein Bestreben sich nach einer Elektrode zu bewegen, und ist völlig indifferent gegen den durchgehenden Strom, wenn es nicht selbst ein zusammengesetztes Jon und desshalb elektrolysirbar ist. Der Charakter der wahren elektrolytischen Wirkung besteht in der Trennung der Jonen, von denen das eine nach der einen, das andre nach der andern Elektrode sich hinbewegt, wesshalb sie auch zu gleicher Zeit an den Elektroden erscheinen, wenn nicht das Erscheinen des einen, oder auch beider durch sekundäre Wirkung verhindert wird. (Faraday's 7. Reihe. Pogg. Annal. Bd. XXXIII. pag. 498.)

5) Man nahm bisher bei dem oben angeführten Versuche über die Trennung der Schwefelsäure vom Kali an, dass die Schwefelsäure aus dem Gefäss N in das Gefäss P, oder Kali aus dem Gefäss P in das Gefäss N, in Folge der anziehenden Kraft der Pole übergeführt würden, während das andre Element zurückbliebe; einen solchen Uebergang der Jonen gibt es aber nicht. Wenn die Elemente des zerlegten Wassers an den entgegengesetzten Elektroden erscheinen sollen, so muss sich Wasser zwischen beiden Elektroden befinden. Soll Schwefelsäure und Natron von einander getrennt werden, so muss sich eine Reihe von Theilchen des schwefelsauren Natrons von einer Elektrode zur andern erstrecken. In Davy's Experiment über die Trennung der Schwefelsäure vom Natron kann demnach die Trennung der Elemente nicht eher eintreten, als nachdem durch die Ca-

Digitized by Google

pillarität der feuchten Faser ein Theil des Salzes in das andre Gefäss übergegangen ist; eine genaue chemische Untersuchung der in beiden Gefässen enthaltenen Bestandtheile bestätigt diess vollkommen, denn man findet nach einiger Zeit, dass sich unzersetztes Salz in beiden Gefässen befindet; also nicht das eine Element geht durch die feuchte Faser in das andre Gefäss über, sondern das unzersetzte Salz, und nachher erst beginnt die Zersetzung. Dass die ausgeschiedenen Elemente eines Körpers nicht bis zu dem einen der sogenannten Pole in dem früheren Sinne übergehn, hat Faraday durch folgenden Versuch sehr schön nachgewiesen. In den obern Theil eines cylindrischen Gefässes brachte er eine Scheidewand von Glimmer an, und goss alsdann sehr vorsichtig, ohne die Wände des Gefässes zu bespritzen, eine Lösung schwefelsaurer Magnesia in das Gefäss, so dass das untre Ende der Glimmerscheide sich ganz in der Flüssigkeit befand; nun goss er vorsichtig Wasser in die eine durch die Glimmerwand gebildete Zelle, so dass das Wasser die Salzlösung in dieser Zelle bedeckte, ohne sich damit zu vermischen. Nachdem alles so vorgerichtet war, tauchte er das negative Metallende in das Wasser der einen Zelle, das positive aber in die sich in der andern befindliche Salzlösung. Fände nun ein Uebergang der Elemente im gewöhnlichen Sinne statt, so müsste die ausgeschiedene Magnesia durch das Wasser zu dem negativen Pol sich bewegen. Es geschieht diess aber nicht; die Magnesia erscheint an der Trennungsfläche zwischen dem Wasser und der Salzlösung, und zeigt durchaus kein Bestreben, sich nach dem positiven Pol zu bewegen. (Faraday's 5. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXII. pag. 420.)

6) In dem oben angeführten Experiment wirkt offenbar Wasser als negative Elektrode, woraus klar hervorgeht, dass der Contact eines metallischen Leiters mit der zu zerlegenden Flüssigkeit nicht wesentlich ist. Faraday hat gezeigt, dass eben so gut Luft als Elektrode dienen

Digitized by Google

kann. Ein elektrischer Strom wurde von einer Nadelspitze, die mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung stand, durch eine Luftschicht in ein zugespitztes mit schwefelsaurem Natron befeuchtetes Stückchen Lakmuspapier geleitet, und trat durch eine auf dieselbe Weise befeuchtete Spitze von Curcumapapier wieder aus. Wahre elektrolytische Wirkung fand dabei statt; das Lakmuspapier wurde geröthet, und das Curcumapapier gebräunt, obgleich die beiden Extremitäten der zu zerlegenden Lösung nur mit einer Luftschicht, und nicht mit einem Metall in Berührung standen. (Faraday's 5. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXII. p. 403.)

7) Elektrochemische Zersetzung kann nur dann stattfinden, wenn wirklich ein elektrischer Strom durch den zu zersetzenden Körper hindurchgeht, mithin muss jedes Elektrolyt auch Leiter der Elektricität seyn. Die Beziehung zwischen Elektricitätsleitung und Zersetzung ist so constant, dass letztere als die Ursache betrachtet werden kann, dass ein galvanischer Strom durch eine zusammengesetzte Flüssigkeit mit *Leichtigkeit* hindurchgeht. Demnach muss also die Festigkeit die Leitungsfähigkeit der Elektrolyten *fast* gänzlich zernichten, indem sie Elemente hindert, sich zu den Elektroden zu bewegen Die Erfahrung bestätigt diess vollkommen. Wasser, welches während seiner Zersetzung die Elektricität gut leitet, leitet sie fast gar nicht mehr, sobald es gefriert. Eine dünne Eisschicht, welche man zwischen die Elektroden bringt, reicht hin, den galvanischen Strom einer kräftigen Batterie zu isoliren, wovon man sich durch ein Galvanometer, welches man in den Kreis der geschlossenen Kette bringt, überzeugen kann. Ein vollkommener Isolator ist jedoch das Eis nicht, denn es leitet noch genug, um ein divergirendes Goldblattelektrometer zu entladen. So wie das Eis, erhalten auch andre feste Körper dadurch, dass sie flüssig werden, Leitungsvermögen. Faraday zeigte diess, indem er Chlorblei, Chlorsilber, chlorsaures Kali, Jodkalium, Jodblei u. s. w. geschmolzen der Wirkung der Batterie

Digitized by Google

aussetzte. Die Art und Weise, wie er diess bewerkstelligte ist folgende: wenn die zu untersuchenden Substanzen nicht zu strengflüssig waren, so brachte er sie auf einer Glasplatte (einem Scherben einer Florentiner Flasche) mittelst der Weingeistlampe zum Schmelzen; in die flüssige Masse wurden alsdann die Platinelektroden eingetaucht, an denen sich dann die Elemente ausschieden. Auf diesem Wege wurden Chlorblei, Chlorsilber, chlorsaures Kali u. s. w. zerlegt. Manchmal wandte Faraday eine gebogene Röhre von grünem Glase an, um darin die Körper zu diesem Zwecke zu schmelzen. Schwerer schmelzbare Substanzen werden mittelst des Löthrohrs auf einem Platinblech geschmolzen, welches mit dem einen Ende der Batterie verbunden war und also die Stelle der einen Elektrode vertrat; in die flüssige Masse wurde ein Platindrath eingetaucht, der mit dem andern Ende der Batterie verbunden, als zweite Elektrode wirkte. Diess Verfahren wurde namentlich bei Chlornatrium, schwefelsaurem Natron, Bleioxyd u. s. w. angewandt. Alle die so untersuchten Substanzen wurden erst im flüssigen Zustande leitend; liess man sie wieder erkalten, so hörte mit dem Starrwerden gleichzeitig die Zersetzung und die Leitungsfähigkeit auf. Nicht alle Körper erhalten durch das Schmelzen Leitungsfähigkeit, sondern nur diejenigen, welche Elektrolyte sind; Phosphor, Schwefel, Harz, Schellak u. s. w. werden durch das Schmelzen nicht leitend. (Faraday's 4. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXI. pag. 229.)

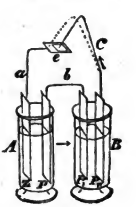
Die Quantität des Theils eines zusammengesetzten Körpers, welcher durch Galvanismus zersetzt wird, ist der Menge der durchgehenden Elektricität proportional, wie auch alle andern Umstände, als da sind: die Grösse der Elektroden und der Leitungsdräthe, die Zahl und Grösse der Plattenpaare, die Natur der erregenden Flüssigkeit u. s. w. sich ändern mögen. Veränderungen in diesen Dingen haben allerdings Einfluss auf die Menge der durchgehenden Elektricität, aber der Grad der chemischen Zersetzung ändert

Digitized by Google

sich in demselben Verhältniss. Die eben angeführten Thatsachen veranlassten anfangs die Meinung, dass der Strom einer voltaischen Kette nicht durch Flüssigkeiten, die metallischer Natur ausgenommen, hindurchdringen könnte, ohne dass gleichzeitig Zersetzung stattfände. Faraday aber hat gezeigt, dass wenn die Intensität des Stromes zu schwach ist, um Zersetzung hervorzubringen, dennoch eine geringe Quantität von Elektricität hindurch gehn kann, welche hinreichend ist, um durch das Galvanometer entdeckt zu werden. Diess ändert jedoch das oben angeführte Gesetz nicht wesentlich.

8) Chemisch zusammengesetzte Körper sind in Ansehung der elektrischen Kraft, welche zu ihrer Zersetzung erforderlich ist, sehr verschieden. Ein Strom von sehr geringer Spannung reicht hin, um Chlorkalium zu zersetzen, während eine weit grössere Intensität nöthig ist, um die Elemente des Wassers von einander zu trennen. Faraday hat diese, und die am Schlusse von No. 7. angeführte Behauptung auf folgende Art nachgewiesen. Zwei Glasgefässe *A* und *B* Fig. 17 wurden mit verdünnter Schwefelsäure, deren spezifisches Gewicht 1,25 war, gefüllt. In das Gefäss *A* wurde alsdann eine amalgamirte Zinkplatte *Z* eingetaucht, an welcher ein Drath *a*, der die kleine Platinplatte *e* trug, angelöthet war. Der Zinkplatte *Z* gegenüber war eine Platinplatte *P* eingetaucht, die durch den Drath *b* mit der Platinplatte $P_{,}$ im Gefäss *B* verbunden war, welcher endlich eine Platinplatte $P_{,,}$ gegenüber stand, an welcher der gebogne Drath *C* angelöthet war. Sobald ein auf das Platinplättchen bei *e* gelegtes mit einer Lösung von Jodkalium befeuchtetes Stückchen Papier mit dem Ende des umgebogenen Drathes *C* berührt wurde, trat sogleich Zersetzung des Jodkaliums ein, gerade wie in dem oben pag. 26 angeführten Versuche. Derselbe Strom,

Fig. 17.



Digitized by Google

welcher diese Zersetzung hervorbrachte, musste doch auch durch das Wasser zwischen den Platinelektroden im Gefässe *B* hindurchgehn, dabei wurde jedoch nicht die mindeste Zersetzung beobachtet. Selbst nachdem man den Drath *C* in die punctirte Lage gebracht hatte, so dass metallischer Contact zwischen dem Drath *C* und der Platinplatte *e* stattfand, und der Strom weit weniger Hinderniss zu überwinden hatte als vorher, trat doch keine Wasserzersetzung im Gefässe *B* ein. Nachdem man sogar den Apparat mehrere Tage lang ruhig stehn gelassen hatte, waren während dieser ganzen Zeit doch noch keine Gasbläschen sichtbar geworden. Der galvanische Strom also, welcher zwischen den beiden Platinelektroden $P_{,}$ und $P_{,,}$ durch das Wasser hindurchgeht, ohne Zersetzung hervorzubringen, hat noch Intensität genug, das Jodkalium bei *e* zu zersetzen. Durch das Eingiessen von einigen Tropfen Salpetersäure in das Gefäss *A*, wurde die Spannung des Stromes so erhöht, dass nun Wasserzersetzung in *B* erfolgte. (Faraday's 8. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXV. pag. 222.)

Eine Reihe der wichtigsten untersuchten Substanzen ihrer leichten Zersetzbarkeit nach geordnet ist folgende: Lösung von Jodkalium, geschmolzenes Chlorsilber, geschmolzenes Protochlorid von Zinn, geschmolzenes Chlorblei, geschmolzenes Jodblei, Lösung von Chlorwasserstoffsäure, Wasser durch Schwefelsäure gesäuert.

Man glaubte bisher, dass eine nur aus einem Plattenpaare bestehende Kette keine chemische Zersetzung hervorbringen könnte, was jedoch durch die eben angeführten Versuche hinlänglich widerlegt ist. Diese Meinung kam wohl daher, dass man die Wasserzersetzung als Kriterium für die zersetzende Kraft der Kette betrachtete, obgleich es hinsichtlich der leichten Zersetzbarkeit von allen andern in obiger Reihe angeführten Substanzen übertroffen wird.

9) Die Leitung des elektrischen Stromes in den Zellen einer voltaischen Batterie hängt ebenfalls von der chemischen

Digitized by Google

Zersetzung der erregenden Flüssigkeit ab, gerade so wie der Durchgang des Stroms von einer Platinelektrode zur andern. Jedes Elektrolyt kann desshalb den voltaischen Apparat erregen, eine Substanz aber, die nicht zugleich ein Elektrolyt ist, kann es nicht; für den Uebergang der Elektricität von einer Platte zur andern, durch die dazwischenbefindliche erregende Flüssigkeit, ist die Trennung der vorher im gehörigen Verhältniss verbundnen Elemente wesentlich. Weder freies Sauerstoffgas, noch eine Chlorlösung kann einen elektrischen Strom erregen, obgleich beide das Zink angreifen. In einer durch verdünnte Schwefelsäure erregten voltaischen Kette ist die in Bewegung gesetzte Elektricität der Zersetzung des Wassers und der Oxydation des Zinks, aber nicht der Vereinigung des Zinkoxyd's mit der Schwefelsäure zuzuschreiben. Die Platinelektroden können mit der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit als eine der Zellen der Kette betrachtet werden, nur mit dem Unterschied, dass die Platten nur als Leiter wirken, ohne dass Oxydation an ihnen stattfindet. So können Fig. 9 die Zink- und Kupferplatte in einem der Gläser durch Platinplatten ersetzt werden, oder mehrere solcher Plattenpaare können in die zusammengesetzte Kette eingefügt werden; sie bilden aber blos Zellen der Zersetzung. Solche Plattenpaare vermindern die Kraft der Batterie sehr. In den Zink- und Kupferzellen wird der Strom durch die Begierde des Zink's sich mit dem Sauerstoff zu verbinden erregt, während die Elektricität beim Durchgang zwischen den Elektroden die Anziehung des Sauerstoffs zum Wasserstoff oder eine ähnliche Kraft noch zu überwinden hat, ohne durch eine dieser entgegengesetzten Verwandtschaft unterstützt zu werden. Durch Ueberwindung dieses Hindernisses wird der elektrische Strom geschwächt, und wenn seine Spannung unzureichend ist, um die dazwischen befindliche Flüssigkeit zu zerlegen, so ist er beinahe gänzlich gehemmt. Desshalb muss bei Zersetzungsversuchen der Lauf der Elek-

Digitized by Google

tricität durch Anwendung breiter Elektroden, am besten Plättchen von Platinblech, (siehe unten bei der Beschreibung des Voltaelektrometers pag. 59) und dadurch, dass man sie in einer gut leitenden Lösung in eine möglichst kleine Entfernung von einander bringt, erleichtert werden.

Die eben festgestellten Principien zeigen, wie wichtig es ist, dass alle Zellen einer voltaischen Kette mit einer gleich starken Flüssigkeit erregt werden. Die Elektricität, welche in einem voltaischen Apparat circulirt, wenn die Leitungsdräthe in Contact sind, ist derjenigen gleich, welche der chemischen Zersetzung in der am schwächsten wirkenden Zelle entspricht, und alle chemische Wirkung in den andern Zellen, welche grösser ist als nöthig, um diese Quantität zu erregen, geht verloren. In einer Kette mit mehreren Zerlegungszellen bestimmt der Strom, welcher durch die Zelle von der geringsten Leitungsfähigkeit durchgeht, die Quantität, welche in dem ganzen Apparat circulirt. Nach dem gesagten ist nun klar, dass diejenigen voltaischen Apparate, in welchen die erregende Flüssigkeit sich nicht in gesonderten Zellen, sondern in einem grossen Troge befindet, in welchen die Platten eingetaucht werden, den Vortheil voraus haben, dass die Flüssigkeit, welche den ganzen Apparat erregt, von weit grösserer Gleichförmigkeit seyn kann, als bei den andern.

10) In einer voltaischen Kette, in welcher nur so viel Zink oxydirt wird, als nöthig ist, um den elektrischen Strom zu erregen, z. B. in einer aus Platinplatten und amalgamirten Zinkplatten construirten Batterie, steht die an jeder Platte in einer gewissen Zeit aufgelöste Menge Zink in einem constanten Verhältniss zu dem an der correspondirenden Kupferplatte aufsteigenden Wasserstoffgas. Diess Verhältniss ist von der Art, dass 32,3 Theile Zink aufgelöst werden, während 1 Theil Wasserstoffgas aufsteigt. Allein nicht blos auf die Wasserstoffentwickelung in den Erregungszellen, sondern auf die Zersetzung zwischen den

Digitized by Google

Elektroden erstreckt sich dasselbe feste Verhältniss. Während an der negativen Elektrode 1 Gewichttheil Wasserstoffgas entwickelt wird, werden an jeder Zinkplatte der ganzen Batterie 32,3 Gewichttheile Zink aufgelöst, so dass in einer Batterie von 10 Plattenpaaren 323 Theile Zink in dem ganzen Apparat aufgelöst werden, während 1 Theil Wasserstoffgas durch Zersetzung des Wassers zwischen den Elektroden frei wird. Den Schluss, den Faraday aus diesem und ähnlichen Experimenten zog, ist der, dass die durch die Oxydation von 32,3 Gran Zink in Bewegung gesetzte Elektricität gerade hinreicht, um 9 Gran Wasser in seine Elemente zu zerlegen. *) Wenn derselbe Strom durch vier Paar Elektroden Wasser, Chlorsilber, Chlorblei und Chlorzinn, alle in flüssigem Zustande, zerlegt, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den vier negativen Elektroden ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Elektroden Sauerstoffgas und Chlor und zwar in dem Verhältniss von 8 : 35,4 ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andre zusammengesetzte Körper dargethan worden. Es scheint demnach gewiss, — und diess ist eine neue und wichtige Entdeckung, — dass das Verhältniss der elektrochemischen Zersetzung vollständig bestimmt ist, indem eine gegebene Quantität Elektricität die Bestandtheile zusammengesetzter Körper in ganz bestimmten und unveränderlichen Verhältnissen ausscheidet, welche Faraday *elektrochemische Aequivalente* nennt. Diese Aequivalente sind mit den chemischen identisch. So besteht nun zwischen Elektricität und chemischer Anziehung eine Beziehung, weit inniger als irgend eine vorher aufgefundene, welche eine wechselseitige Abhängigkeit und Aehnlichkeit der Wirkung

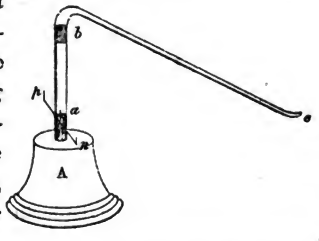
*) Hier ist das Atomgewicht des Wasserstoffs zu 0,1248 angenommen, wie es in England gewöhnlich geschieht, und nicht zu 0,0624, wie es die meisten deutschen Chemiker annehmen.

Digitized by Google

zweier Agentien zeigt, so dass man fast ihre Identität annehmen muss. *)

Die bestimmte Natur der elektrochemischen Zersetzung gibt ein neues Mittel an die Hand, die in einem voltaischen Apparat cirkulirende Quantität der Elektricität zu bestimmen. Es ist nur nöthig, das Gas, welches aus dem gesäuerten Wasser an den Elektroden aufsteigt, zu sammeln, um ein Maass für die Quantität der Elektricität zu erhalten, welche in einer gegebenen Zeit hindurch gegangen ist. Eine in gleiche Theile eingetheilte Glasröhre dient alsdann, die Grade der Elektricität ebenso auszudrücken, wie die Ausdehnung der Flüssigkeit im Thermometer, Grade der Temperatur ausdrückt. Die zu diesem Zwecke construirten Instrumente nennt Faraday *Volta-Elektrometer*. Er hat verschiedene Arten derselben beschrieben, deren Einrichtung, jenachdem er Sauerstoffgas und Wasserstoffgas getrennt oder mit einander sammeln wollte. Eine der passendsten Formen dieses Apparats, welche die Gase vereinigt sammelt, ist Fig. 18 abgebildet. Eine am Boden verschlossene Glasröhre ist auf einem hölzernen Untersatz A befestigt. Diese Röhre, welche 5 Zoll lang ist und 0,6 Zoll im Durchmesser hat, enthält die beiden Platin-Elektroden, wovon in unserer Figur

Fig. 18.



*) In dem fünfzehnten Jahrgang seines Jahresberichtes hegt Berzelius einige Zweifel gegen die von Faraday in seiner siebenten Reihe aufgestellte Behauptung, dass die Quantität der Zersetzung nur von der Quantität der durchgehenden Elektricität abhinge, welche jedoch durch die achte und zehnte Reihe, von denen Berzelius noch keine Notiz gibt, gelöst werden. Fast alle Einwendungen, welche Berzelius machte, sind durch Turners treffliche Darstellung der Sache beseitigt.

Digitized by Google

nur die eine sichtbar ist, indem die andre durch diese verdeckt wird. Die Elektrode *a b* ist an einem Drath befestigt, der in die Glasröhre eingeschmolzen ist, und dessen ausserhalb der Röhre befindliches Ende *n* mit dem einen Pol der Kette verbunden werden kann. Die zweite Elektrode ist an einem ähnlichen Drath befestigt, dessen Ende *p* mit dem andern Pol der Kette verbunden wird. Die Fig. 18 ist zu klein, um deutlich zu sehen, wie die Platinelektroden in der Röhre angebracht sind; es wird diess durch Fig. 19 deutlicher gemacht. Um den Contact der Platinelektroden zu verhindern, muss man kleine Glaskügelchen zwischen sie bringen. Die Röhre wird mit dem durch Schwefelsäure gesäuerten Wasser so weit gefüllt, als es in Fig. 18 durch die schwarze Schattirung angedeutet ist. Das entwickelte Gas entweicht durch eine an der Glasröhre angebrachte Verlängerung, und kann über dem Ende *c* derselben in einer graduirten Röhre gesammelt, und so sein Volumen gemessen werden. (Faraday's 7. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXIII. pag. 319.)

Fig. 19.

Bei Gelegenheit dieser Untersuchungen machte Faraday die interessante Entdeckung, dass Platinplatten, die als Elektroden bei der Zersetzung von Wasser, welches, um es besser leitend zu machen, mit Schwefelsäure gesäuert war, gebraucht worden sind, die merkwürdige Eigenschaft erhalten, ein Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zu Wasser zu verbinden; am kräftigsten ist in dieser Beziehung die Wirkung einer Platinplatte, welche als positive Elektrode gedient hat. Während der Gasverdichtung erwärmt sich die Platinplatte; diese Erwärmung steigt unter günstigen Umständen bis zum Glühen der Platte, wobei dann das Gasgemenge explodirt. Nicht etwa ein besondrer elektrischer Zustand, sondern die sehr grosse Reinheit der Oberflächen, die die Platten bei dem Gebrauch als Elektroden erhalten, ist die Ursache davon; die negative Elektrode ist weniger rein, weil alle

Digitized by Google

Oxyde u. s. w., welche die Säure verunreinigen, sich auf derselben niederschlagen. Platinplatten, die durch Reiben mit Asche, Kohle, Schmirgel u. s. w., oder durch Aetzkali, welches auf der Platte geschmolzen wurde, gereinigt waren, zeigten dieselbe Eigenschaft. Auch auf andre Gasgemenge äusserten solche Platinplatten dieselbe Wirkung, obgleich in ungleich geringerm Maasse. Ebenso zeigten auch Gold und Palladium, jedoch in einem bei weitem schwächern Grade, dieselbe Eigenschaft. Faraday glaubt diese Erscheinung einer anziehenden Kraft der Metallplatten gegen die Gase zuschreiben zu müssen, welche ganz der Kraft ähnlich ist, durch welche hyproscopische Körper das Wassergas aus der Luft anziehn. Die Erscheinung am Döberciner'schen Platinschwamm ist wohl ohne Zweifel identisch mit dieser; das Glühen wird nur durch den feinzertheilten Zustand des Platin's ausnehmend begünstigt. (Faraday's 6. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXIII. pag. 149.)

Nach dem, was von der festen Beziehung zwischen der Zersetzung in jeder Zelle und der Quantität der durchgehenden Elektricität gesagt ist, lässt sich nun leicht begreifen, dass, wie auch schon oben gesagt wurde, die Zahl der Plattenpaare einer Batterie keinen Einfluss auf die Quantität der cirkulirenden Elektricität hat, sondern nur ihre Intensität vermehrt. Die Elektricitätsmenge, welche durch eine Zelle geht, steht in fester Beziehung zu der elektrochemischen Zersetzung in derselben und wie man auch die Zahl der Plattenpaare vermehren mag, so kann demnach dennoch die Quantität der Elektricität, welche durch eine Zelle geht, durchaus nicht grösser werden, als sie nach der chemischen Zersetzung in dieser Zelle seyn kann.

Die Vergleichung zwischen der Zersetzung zwischen den Elektroden und der Oxydation an den Zinkplatten gibt uns ein treffliches Mittel an die Hand, die verschiedenen Trogapparate mit einander zu vergleichen. In einer vollkomme-

Digitized by Google

nen Batterie, d. h. in einer solchen, in welcher nur so viel Zink verzehrt wird, als zur Bildung des Stroms nöthig ist, in welcher also keine locale Wirkung stattfindet, wird ein Aequivalent Wasser zwischen den Elektroden zersetzt, während ein Aequivalent Zink an jeder Platte verzehrt wird. Bei den meisten Apparaten aber lässt sich die locale Wirkung nicht ganz beseitigen, so dass mehr als ein Aequivalent Zink verzehrt wird; diejenigen Apparate verdienen immer den Vorzug, bei welchen die lokale Wirkung möglichst klein ist. Auch in dieser Hinsicht zeichnet sich Faraday's neuer Apparat sehr vortheilhaft aus.

Theorie der elektrochemischen Zersetzung.

Der bekannteste Versuch, die chemischen Wirkungen des Galvanismus zu erklären, ist von *Davy* in seinem „Essay on Some chemical Agencies of Electricity" (Phil. Trans. 1807) mittelst einer Hypothese gemacht worden, welche den Namen der *elektrochemischen Theorie* erhielt. Die Ansichten Davy's, welche in derselben, oder in etwas veränderter Form von den meisten Physikern angenommen wurden, die über diesen Gegenstand forschten, sind auf die Annahme gegründet, dass elektrische und chemische Attraction von demselben Agens herrühre. Er betrachtet die chemischen Substanzen als solche, die von Natur mit elektrischen Kräften begabt sind; er verstand darunter, dass die sich verbindenden Moleküle entweder positiv oder negativ erregt seyen; dass chemische Verbindung das Resultat chemischer Anziehung sey, welche zwischen entgegengesetzt erregten Atomen stattfände, gerade wie sich entgegengesetzt erregte materielle Massen gegenseitig anziehn, und dass gewöhnlich dadurch Zersetzung entsteht, dass zwei verbundene Atome durch elektrische Kräfte andrer Atome ge-

Digitized by Google

trennt werden, welche stärker sind, als die, durch welche sie verbunden waren. Die elektrochemische Zersetzung wurde von Davy nach denselben Prinzipien erklärt. Er betrachtete die metallischen Enden einer voltaischen Kette als zwei Mittelpunkte elektrischer Kraft, deren jeder abstossend gegen Theile von demselben elektrischen Zustand, und anziehend gegen die entgegengesetzt erregten wirke. Ein nothwendiges Resultat dieser Voraussetzung war, dass wenn die elektrische Kraft der Batterie diejenige übertrifft, durch welche die Elemente eines zusammengesetzten Körpers in Folge ihrer gegenseitigen Wirkung zusammengehalten werden, Zersetzung erfolgt, und dass jedes Element sich wirklich zu dem Pole hinbewegt, durch welchen es angezogen wird, indem es durch die Flüssigkeiten hindurchgeht, die ihren früheren Bestandtheil nicht mehr aufnehmen (not containing the original compound), sich nicht mit Substanzen vereinigend, mit denen sie sich unter andern Umständen verbunden haben würden. Substanzen, welche am positiven Pol erscheinen, als Sauerstoff, Chlor und Säuren, wurden *elektronegative* Substanzen genannt, diejenigen aber nannte er *elektropositiv*, welche an dem negativen Pol ausgeschieden werden.

Die Ansichten Davy's sind sowohl in seinem ersten „Versuche", als auch in seinen „Erläuterungen" (Phil. Trans. 1826) so allgemein und dunkel ausgedrückt, dass die Chemiker bei mehreren Punkten seiner Lehre über seine wahre Meinung nicht einig werden konnten; wenn er meint, dass ein Theilchen freien Sauerstoffs oder freien Chlors in einem negativ erregten Zustande sey, so ist diese Meinung der Thatsache entgegen, dass keines von diesen Gasen das Elektrometer mit negativer oder mit irgend einer Art von Elektricität afficirt, um so mehr, da Wasserstoffgas und Natrium durchaus kein Zeichen positiver Erregung geben. Wenn der Schwefel sich mit dem Sauerstoff vereinigt, weil

Digitized by Google

er eine positiv elektrische Kraft hat, wie soll er sich mit dem Kalium verbinden, welches zugestandner Weise noch weit mehr positiv ist als der Schwefel selbst? Die einzige Art, auf welche man diese Thatsachen mit der elektrochemischen Theorie in Uebereinstimmung bringen kann, ist die, dass man annimmt, dass alle Körper im ungebundnen Zustand elektrisch indifferent seyen, und dass sie eine natürliche Begierde haben, irgend einen Zustand einem andern Körper gegenüber anzunehmen. Elektronegative Körper wären demnach solche, welche negative Erregung annehmen, bei gewisser Annäherung andrer, welche dadurch gleichzeitig positiv erregt werden, wovon alsdann chemische Verbindung die Folge ist. Nach dieser Ansicht ist es dann begreiflich, dass Schwefel positiv seyn kann in Beziehung zum Sauerstoff, und negativ in Beziehung zum Kalium, so wie ja auch schwarzes Siegellack durch Reibung mit Schellack negativ, und durch Reibung mit Siegellack positiv elektrisch wird. Nach der folgenden von Berzelius konstruirten Tabelle ist es offenbar, dass dieser Chemiker die eben angeführte Ansicht von den elektrischen Kräften der Körper hat. Er hat sie nur als approximativ gegeben, und nicht als streng die genauen elektrischen Verhältnisse der Elemente darstellend. Stickstoff und Wasserstoff erhalten kaum ihre richtige Stellung in der Reihe, da das erstere in geringerem Grad elektronegativ ist als Chlor und Fluor, und Wasserstoff doch, wie man denken sollte, eine ausgezeichnete Stelle unter den elektropositiven Elementen einnehmen müsste. Alle die in der ersten Reihe aufgezählten Körper sind negativ gegen die in der zweiten. In der ersten Reihe ist jede Substanz negativ gegen die unter ihr stehende, und in der zweiten ist jede Substanz positiv in Beziehung auf die, welche eine tiefere Stelle einnehmen.

Digitized by Google

1. Negativ-elektrisch.	2. Positiv-elektrisch.
Sauerstoff	Kalium
Schwefel	Natrium
Stickstoff	Lithium
Chlor	Barium
Jod	Strontium
Fluor	Calcium
Phosphor	Magnesium
Selen	Glucinium
Arsenik	Yttrium
Chrom	Aluminium
Molybden	Zirconium
Bor	Mangan
Kohle	Zink
Antimon	Cadmium
Tellur	Eisen
Columbium	Nickel
Titan	Kobalt
Selicium	Cerium
Osmium	Blei
Wasserstoff.	Zinn
	Wismuth
	Uran
	Kupfer
	Silber
	Quecksilber
	Palladium
	Platin
	Rhodium
	Iridium
	Gold.

Es gehört nur ein geringes Nachdenken über die in diesem Abschnitt angeführten Thatsachen dazu, um einzusehn, dass sie mit der von Davy aufgestellten Theorie unverträglich sind. Es gibt nach derselben nicht den geringsten Grund, warum eine voltaische Batterie, welche Protochloride und Protojodide eines Metalls zersetzen kann, nicht

Digitized by Google

auch im Stande ist, die Perchloride und die Perjodide desselben Metalls zu zersetzen. Diese Thatsache wurde von Davy nicht berücksichtigt, und seine Theorie zeigt, wie *alle* zusammengesetzten Körper zerlegt werden. Auch dafür gibt es durchaus keinen Beweis, dass die Pole einer Batterie attractive und repulsive Kräfte ausüben. Es ist weder nothwendig, dass ein metallischer Leiter mit dem zu zersetzenden Körper in Berührung sey (pag. 51) noch gehn die Elemente zu den Polen hin, wenn sie nicht in Berührung mit der in Zersetzung begriffenen Substanz sind. Wenn Wasserstoff die negative Elektrode erreicht hat, so wird es frei als Gas entbunden und die Elektrode zeigt durchaus kein Bestreben es zurückzuhalten. Die manchmal stattfindende Verbindung der Elektroden mit den Elementen der zerlegten Körper, wie z. B. die Verbindung des Sauerstoffs mit einer positiven Elektrode von Zink, beweist keine solche Attraction, sondern sie rührt daher, dass die Substanzen, welche ohnehin schon eine starke chemische Verwandtschaft gegeneinander haben, unter den günstigsten Umständen für chemische Verbindung, mit einander in Berührung kommen.

Da nun Davy's Theorie unrichtig ist, so haben wir in der That keine andre mehr, welche die Phänomene genügend zu erklären im Stande wäre. Faraday hat in der That viel gethan, indem er ihre Irrthümer aufdeckte, und die Thatsachen über diesen Gegenstand feststellte.

Betrachten wir die Ansichten der Physiker über den Hergang der Zersetzung näher. Einige nehmen an, dass die von Faraday bestrittene Anziehungs- und Abstossungskraft in der Nähe der Pole am stärksten sey, dass sie mit der Entfernung abnähme und dass in der Mitte zwischen den Elektroden beide Kräfte sich neutralisirten; eine Folge davon wäre, dass in der Nähe der Pole die Zersetzung am stärksten wäre, und dass sie in der Mitte zwischen denselben gar nicht stattfände. Nach der Ansicht dieser Physiker bewegen sich auch die Elemente, wenn sie einmal ausge-

Digitized by Google

schieden worden sind, durch die ganze Flüssigkeit hindurch zu den Polen, von denen sie angezogen werden, ohne auf diesem Wege sich wieder mit den Theilchen des andern Elements zu verbinden, die nach entgegengesetzter Richtung durch die Flüssigkeit wandern. Diese Ansicht stellten besonders Riffault und Chompre auf. Grotthus hingegen, welcher zwar auch die Elektroden als anziehende und abstossende Pole betrachtet, ist der Meinung, dass der zersetzende Einfluss des Stroms sich nicht blos auf einzelne Theilchen des Elektrolyts erstrecke, sondern dass die ganzen Reihen der Theilchen, welche die Elektroden verbinden, auf gleiche Weise seiner Wirkung ausgesetzt sind, dass also die Zersetzung, wie es auch Faraday bewiesen hat (Faraday's 5. Reihe. Pogg. Ann. Bd. XXXII. pag. 427 u. f.) in der Mitte der Flüssigkeit eben so gross sey, als an den Elektroden; auch erleiden die Theilchen nach dieser Meinung, wie auch Faraday annimmt, keine bleibende Trennung. Der Hergang der Zerlegung ist nach dieser Ansicht folgender. Wenn ein Sauerstofftheilchen an der positiven Elektrode entbunden wird, so geht das Wasserstofftheilchen, welches mit ihm verbunden war, nicht auf einmal zu der entgegengesetzten Elektrode über, sondern es verbindet sich mit dem Sauerstoff des anliegenden Wassertheilchens nach der Richtung hin, in welcher der positive Strom sich bewegt; das zweite Wasserstofftheilchen zersetzt ebenfalls eine Portion Wasser, welche mehr nach der negativen Elektrode hin liegt; derselbe Prozess der Zersetzung und Wiederbildung des Wassers geht so fort, bis er das Wasser erreicht, welches in unmittelbarer Berührung mit der negativen Elektrode ist, an welcher dann Wasserstoffgas entbunden wird. Dieser Hergang, welcher, als an dem einen Pole anfangend, beschrieben wurde, findet gleichzeitig an beiden statt. Eine ganze Reihe von Sauerstofftheilchen löst auf einmal seine Verbindung mit den nach der negativen Seite hin liegenden Wasserstofftheilchen auf, um sich mit den

Digitized by Google

nach der andern Seite hin liegenden zu verbinden, während die Verwandtschaft einer ähnlichen Reihe von Wasserstofftheilchen zu den nach der positiven Seite hin liegenden Sauerstofftheilchen vermindert, zu den nach der negativen Seite hin liegenden aber vermehrt wird. Desshalb ist es auch wesentlich, dass das Elektrolyt den ganzen Raum zwischen den Elektroden ausfüllt, und mit ihnen in Berührung ist. Die Theorie ist für jetzt noch unvollständig, denn sie gibt keinen Grund für die gestörte Ordnung der Verwandtschaft der Elemente des Elektrolyts; es ist noch nicht klar, warum die chemischen Veränderungen zwischen den Elektroden so wesentlich für die freie Cirkulation der galvanischen Ströme sind, wie es doch den Anschein hat.

Magnetische Wirkungen des Galvanismus.

Das Vermögen des Blitzes, die Pole eines Magneten zu zerstören und umzukehren, und einem Stück Eisen magnetische Eigenschaften zu ertheilen, die es vorher nicht hatte, wurde schon in einer frühern Periode der Wissenschaft der Elektricität erkannt, und leitete auf die Vermuthung, dass ähnliche Wirkungen durch gewöhnliche elektrische und voltaische Apparate hervorgebracht werden könnten. Demgemäss wurden Versuche gemacht, durch Elektricität und Galvanismus magnetische Kräfte hervorzubringen; es wurden aber keine bedeutende Resultate erlangt, bis im Winter 1819 Professor *Oersted* in Kopenhagen die berühmte Entdeckung machte, wodurch der Grund zu einem neuen Zweige der Wissenschaft gelegt wurde. (Annals of Philosophy XVI. 273.)

Die durch Professor Oersted entdeckte Thatsache war die, dass ein metallischer Schliessungsdrath einer geschlossenen voltaischen Kette, und ebenso Holzkohle, salzige Flüssigkeiten, und jedes leitende Medium, welches einen Theil

Digitized by Google

einer geschlossenen Kette bildet, eine Magnetnadel, welche nahe daran gebracht wird, aus ihrer natürlichen Lage ablenkt, und ihr eine neue gibt, deren Richtung von der relativen Lage der Nadel und des Drathes abhängt. Stellt man den Drath über den Magneten und parallel mit ihm, so bewegt sich der Pol, welcher nach dem negativen Ende der Batterie hin sich befindet, jederzeit nach Westen; und wenn der Drath unter die Nadel gebracht wird, so geht derselbe Pol nach Osten. Wenn der Drath in derselben Horizontalebne mit der Nadel sich befindet, so tritt keine Declination ein, der Magnet zeigt aber eine Disposition sich in vertikaler Richtung zu bewegen; der Pol nächst der negativen Seite der Batterie wird niedergebeugt, wenn der Drath westwärts von ihm ist, und gehoben, wenn er sich auf der Ostseite befindet. Ampère hat ein nützliches Hülfsmittel angegeben, die Richtung dieser Bewegung sich ins Gedächtniss zu rufen. Der Beobachter betrachte sich selbst als den Leiter, und nehme an, der positiv-elektrische Strom gehe vom Kopf zu den Füssen, in einer dem Magneten parallelen Richtung, dann wird der Nordpol vor ihm nach der rechten, der Südpol nach der linken Seite bewegt. Die Ebne, in welcher der Magnet sich bewegt, ist jederzeit parallel mit der, in welche sich der Beobachter versetzt denkt. Wenn die Ebne seiner Brust horizontal ist, so ist auch die Bewegung des Magneten horizontal; wenn er aber auf der einen Seite des horizontal aufgehängten Magneten liegt, das Gesicht ihm zugewendet, so ist die Ebne seiner Brust vertikal, und der Magnet strebt sich in vertikaler Ebne zu bewegen.

Die Grösse der Declination, welche eine voltaische Kette hervorbringt, hängt von ihrer Kraft, und von der Entfernung des Schliessungsdrathes von der Nadel ab. Wenn der Apparat kräftig und die Entfernung klein ist, so erreicht die Declination einen Winkel von 45^0. Diese Ablenkung gibt aber keine genaue Vorstellung von der wahren Wirkung, welche der Galvanismus hervorbringt: denn der Be-

Digitized by Google

wegung der Magnetnadel wirkt der Erdmagnetismus entgegen. Wenn der Einfluss dieser Kraft durch einen andern Magneten aufgehoben wird, so wird sich die Nadel kreuzweise gegen den Schliessungsdrath stellen, so dass man sieht, dass die wahre Tendenz des Magneten ist, sich rechtwinklich zu dem elektrischen Strom zu stellen.

Der Schliessungsdrath ist also fähig, die Pole des Magneten anzuziehn und abzustossen. Diess wird sehr leicht bewiesen, wenn man einen horizontal aufgehängten Magneten sich in die Richtung von Norden nach Süden stellen lässt, und in seine Nähe einen Schliessungsdrath der geschlossenen Kette bringt, der vertikal und rechtwinklich zu der Nadel gehalten wird, vorausgesetzt, der positive Strom gehe von unten nach oben. Wenn der Drath sich gerade in der Mitte zwischen den magnetischen Polen befindet, so wird keine Wirkung beobachtet, bewegt man aber den Drath noch halbwegs nach dem Nordpol, d. h. zu dem Pol der nach Norden gerichtet ist, so wird die Nadel angezogen; Abstossung aber wird erfolgen, wenn man ihn zum Nordpol selbst bewegt. Aehnliche Wirkungen finden statt, wenn man den Drath nach dem Südpol hin bewegt. Diess sind die Erscheinungen, wenn der aufsteigende Strom sich auf der Westseite der Nadel befindet, sie sind aber gerade entgegengesetzt, wenn der Drath vertikal auf die Ostseite gebracht wird. Ebenso finden Attractionen und Repulsionen bei einer Magnetnadel statt, wenn der Strom horizontal kreuzweise zu ihr steht.

Die Entdeckung Oersted's war kaum bekannt gemacht, als die Versuche von Naturforschern in allen Theilen Europa's wiederholt und vermannigfaltigt, und, wie erwartet werden konnte, neue Thatsachen schnell an's Licht gebracht wurden. Als Bebauer dieses Feldes zeichneten sich frühzeitig aus Ampère, Biot und Arago zu Paris, Davy und Faraday in England. Eine Menge andrer tüchtiger Männer haben ihre Beiträge geliefert, und ihre vereinten Arbeiten haben eine ganz neue Wissenschaft, die *Elektrodynamik,*

Digitized by Google

begründet, welche nun einen der wichtigsten Zweige des physikalischen Wissens bildet, und welche fortwährend eine reiche Ernte von Entdeckungen ihren Bebauern darbietet. Denen, welche sich in ein tieferes Studium über diesen Gegenstand einzugehn wünschen, ist anzurathen „Recueil d'observations Electro-Dynamiques" von Ampère, Professor Cumming's „Manual of Electro-Dynamics", Murphy's „Treatise on Electricity" und die zweite Auflage von Barlows „Essay on Magnetic Attractions." Auch in Biot's grösserem und kleinerem Werke über Physik, in den Lehrbüchern der Physik von Poullet, Baumgärtner und andern findet man mehr oder weniger ausführliche, zum Theil mehr populäre Darstellungen des Elektromagnetismus. Besonders empfehlenswerth ist auch der Abschnitt über Elektrodynamik in dem ganz neu erschienenen Lehrbuch der Physik von W. Eisenlohr, welches überhaupt den neusten Stand der Wissenschaft darstellt. Es ist nicht der Zweck dieses Werkchens, tiefer in die Details der Thatsachen und der Theorie der Elektrodynamik einzugehn, als nöthig ist, um einen Abriss der Entdeckungen in diesem wichtigen Theile der Physik zu geben und zu einer Idee von dem gegenwärtigen Zustand der Wissenschaft zu leiten.

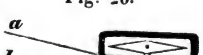
Die elektrodynamischen Phänomene werden nur durch Elektricität hervorgebracht, die sich in Bewegung befindet. Angehäufte Elektricität, welche die Spannung gibt, die bei den Versuchen mit der Elektrisirmaschine wesentlich ist, hat keinen Einfluss auf die Magnetnadel. Der Durchgang der Elektricität durch feste oder flüssige Leiter ist dabei wesentlich; und es ist zu bemerken, dass, je freier der Strom durchgelassen wird, d. h. je vollkommener die Substanz leitet, um so energischer die ablenkende Kraft ist. So lenkt ein Kupferdrath, welcher die Kette schliesst, die Nadel mehr ab, als wenn man statt dessen einen Messingdrath anwendet. In dieser Hinsicht ist die Magnetnadel ein *Galvanoscop*, durch welches man die Existenz und die Richtung eines elektrischen Strom's entdecken kann. In

Digitized by Google

dieser Absicht wurde sie früher von Ampère angewendet, welcher fand, dass der voltaische Apparat selbst auf eine über oder neben ihm angebrachte Magnetnadel auf dieselbe Weise wirkt, wie der Drath, welcher ihre Ende verbindet; da aber die Ablenkung nur dann stattfindet, wenn die entgegengesetzten Ende der Batterie in Verbindung sind, und gänzlich aufhört, wenn die Kette unterbrochen ist, so folgert er, dass die Elektricität ununterbrochen durch die Batterie selbst hindurchströmt, wenn die Kette geschlossen, und nicht mehr wenn sie unterbrochen ist.

Eine Magnetnadel zeigt aber nicht blos die Existenz und die Richtung eines magnetischen Stromes an, sie kann auch dazu dienen, mittelst des Grades ihrer Ablenkung ein genaues Maas seiner Stärke zu geben. Wenn sie zu diesem Zwecke angewendet werden soll, so müssen eigenthümliche Vorrichtungen, *Galvanometer* genannt, gebraucht werden, welche die erforderliche Empfindlichkeit und Genauigkeit haben. Der Versuch beweist, dass ein Magnet durch jeden Punct des Conductors, durch welchen der elektrische Strom hindurchgeht, auf gleiche Weise afficirt wird, so dass ein Drath, durch den ein und denselben Strom geht, mit mehr oder weniger Energie wirkt, je nachdem die Anzahl seiner Theile, welche sich in der Nähe der Nadel befinden, sich verändert. Nach diesem Princip ist das *Galvanometer*, oder der *Mulliplicator* von *Schweigger* construirt. Ein Kupferdrath ist in rectanguläre Form, aus mehrereren Windungen bestehend, gebogen, und in der Mitte dieses Rectangels ist eine behutsam aufgehängte Nadel angebracht, wie Fig. 20 zeigt. Jede Windung verbindet ihre Wirkung mit der der andern, und da der Strom in seinem Fortgang durch den Drath bald über, bald unter der Nadel in entgegengesetzten Richtungen herläuft, so ist ihre vereinigte Wirkung dieselbe. Um zu verhindern, dass der Strom seitwärts von einer Windung zur

Fig. 20.



Digitized by Google

andern, die mit ihr in Berührung ist, übergeht, muss der Drath mit Siegellack überzogen oder mit Seide übersponnen seyn. Die Ende *a* und *b* des Drathes werden frei gelassen, um sie in Verbindung mit den entgegengesetzten Enden der voltaischen Kette zu bringen. Wenn wie in dieser Figur eine einfache Nadel angewendet wird, so stehn ihre Bewegungen zum Theil unter dem Einfluss des Erdmagnetismus, theils unter dem des elektrischen Strom's. Die Angaben werden genauer, wenn die Nadel *astatisch* ist, d. h. wenn ihre richtende Eigenschaft durch die Nähe einer andern Nadel von gleicher magnetischer Stärke aufgehoben wird, die parallel mit ihr aber in entgegengesetzter Richtung angebracht ist, so dass der Nordpol einer jeden Nadel bei dem Südpol der andern liegt. In diesem Zustand neutralisiren sie sich einander, und werden nicht mehr durch den Erdmagnetismus affizirt, während sie nur dem Einfluss des Galvanismus unterworfen sind. Wenn sich nun, wie in der letzten Figur die untere Nadel in dem Rectangel befindet, die obere aber über ihm, so wirkt der elektrische Strom, welcher zwischen beiden hindurchfliesst, auf beide auf dieselbe Weise. Für sehr genaue Untersuchungen muss die Nadel an einem langen feinen Glasfaden oder einem ungesponnenen Seidenfaden (Coconfaden) aufgehangen seyn, und die ablenkende Kraft nicht durch die Länge des Bogens gemessen werden, den die Nadel durchlauft, sondern durch die Torsion, welche nöthig ist, um die Nadel in eine konstante Entfernung von dem Drath zu bringen, wie bei Coulomb's Torsionselektrometer (Drehwage). Ein, nach diesem Prinzip construirtes, sehr werthvolles Instrument hat Dr. Ritchie beschrieben. (Royal Inst. Journal N. S. I, 31.)

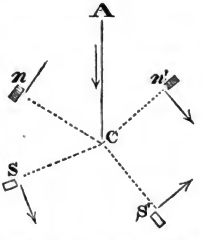
Der wechselseitige Einfluss eines magnetischen Pols, und eines Leitungsdrathes, ändert sich mit ihrer Entfernung von einander. Der Versuch zeigt, dass die Wirkung eines magnetischen Pols und eines zusammenhängenden Leiters, in welchem jeder Punct für sich auf den Pol wirkt, sich

Digitized by Google

umgekehrt wie die Entfernung verhält. Dieses Resultat bestätigt die Meinung, dass die Kraft, mit welcher ein *einzelner* Punkt des Conductors auf den magnetischen Pol wirkt, sich im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung ändert, dasselbe Gesetz, welches für die Vertheilung der Wärme und des Lichtes, sowie auch für die Wirkungen der Elektricität gilt.

Nach den erwähnten Versuchen Oersted's glaubte man zuerst, dass eine Kraft bald attractiv, bald repulsiv in gerader Linie zwischen dem Magneten und dem Leitungsdrath wirke. Bei genauerer Untersuchung fand man, dass alle Phänomene von einer Kraft herrühren, welche tangential auf die Pole des Magneten, und in einer auf die Richtung des Stromes perpendikulären Ebne wirkt. Als Beispiel lege man ein weisses Kartenblatt auf den Tisch und befestige einen Drath A C aufrecht in seinem Centrum. Wenn dann ein positiv-elektrischer Strom hinauf oder hinunter durch den Drath geht, so wird ein magnetischer Pol, welcher sich in der Karte befindet, angetrieben, sich in der Ebne der Karte, mithin rechtwinklich zu dem Strom zu bewegen, und einen Kreis um das Centrum C zu beschreiben. Wenn ein Nordpol sich in *n* und *n'*, und ein Südpol in S und S' befindet, und wenn ein positiver Strom herabsteigt, wie der Pfeil in Fig. 21 zeigt, so ziehe man von jedem Pol eine punctirte Linie perpendikulär zu dem Strom nach C, so wird jede punctirte Linie der Radius eines Kreises seyn, in welchem der entsprechende Pol zu rotiren strebt. Alle Nordpole werden sich nach der Tangente bewegen, welche von dem Radius nach der rechten hin gerichtet ist, und haben also denselben Lauf, wie die Zeiger einer Uhr, wenn sie auf einen Tisch, das Zifferblatt nach oben gerichtet, gelegt wird; die Südpole streben in entgegen-

Fig. 21.

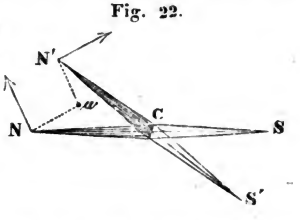


Digitized by Google

gesetzter Richtung zu rotiren. Wenn aber der electrische Strom aufsteigend ist, so wird die Rotation eines jeden Pols umgekehrt seyn. Wenn sich der Strom horizontal bewegt, so ist die Rotationsebne vertikal, und wenn man sich Fig. 21 in diese Lage gebracht denkt, so geben die Pfeile auf der Karte die Richtung der Rotation an, wenn der Strom von A nach C geht.

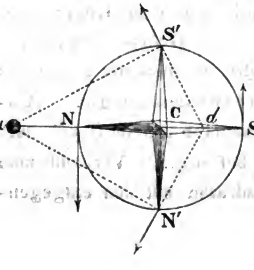
Die von Oersted zuerst entdeckten Bewegungen (p. 69 u. 70) lassen sich auf diess Prinzip zurückführen. Wenn auf eine um die Mitte ihrer Axe bewegliche Magnetnadel, durch einen ihr parallen Strom gewirkt wird, so erhalten ihre Pole einen gleichen aber entgegengesetzten Impuls, und die Nadel wird sich folglich kreuzweise zu der Richtung des Stromes stellen. Wenn, wie in Fig. 22 in *w* rechts von einer horizontalen Nadel N S′, die um C beweglich ist, ein vertikaler positiver Strom angebracht wird, so wird sich der Pol N nach ihm hinbewegen; wenn aber der Strom in *w* bleibt, während der Magnet die Lage N′ S′ annimmt, so wird der Pol N′ sich von dem Strom entfernen: daher die Erscheinung der Repulsion in dem einen, und der Attraction in dem andern Fall.

Fig. 22.



Wenn ein ähnlicher Strom sich ausserhalb des Kreises befindet, in welchem sich der horizontale Magnet bewegt, wie in *u* Fig. 23; wenn ferner der Magnet in N S sich

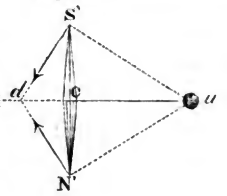
Fig. *u* 23.



Digitized by Google

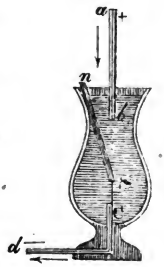
befindet, so werden zuerst seine Pole nach entgegengesetzten Richtungen angetrieben; wenn er aber die Lage N′ S′ erreicht hat, so wirkt die Kraft an jedem Pol nach derselben Seite der Axe des Magneten. Die Pole also, welche gleichweit von *u* entfernt sind, und dieselbe Neigung haben, werden von gleichen Kräften angegriffen, die mit demselben mechanischen Moment wirken. Sie haben demnach nach den Gesetzen des Gleichgewichts eine Resultante, die gerade durch das Centrum der Bewegung geht. Diese Resultante, dargestellt als in *d* angebracht, strebt den Drath *u* und die Mitte des Magneten C gerade gegen einander zu bewegen. Wenn aber der Leitungsdrath *u* auf der rechten Seite des Magneten sich befände, anstatt auf der linken, wie in Fig. 24, dann würde die Resultante, welche wie vorher durch das Centrum der Bewegung geht, eine entgegengesetzte Richtung haben, also den Drath und den Magneten von einander zu entfernen streben, und so die Erscheinung der Repulsion geben.

Fig. 24.



Dasselbe Prinzip erklärt auch die Rotation eines magnetischen Pols um einen Strom, welche Faraday entdeckt hat. In der Mitte des Bodens in einem Gefässe, welches in Fig. 25 im Vertikaldurchschnitt dargestellt ist, war ein Kupferdrath C *d* eingelassen; ein cylindrischer Magnet *n* S war durch einen Drath mit dem Kupferdrath verbunden, und das Gefäss wurde mit Quecksilber gefüllt, so dass der Pol *n* des Magneten noch etwas herausragte. Alsdann war ein Conductor *a b* im Quecksilber vertikal über C befestigt. Verband man nun die Leitungsdräthe mit den entgegen-

Fig. 25.



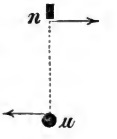
Digitized by Google

gesetzten Enden einer Batterie, so ging ein Strom von einem Drath durch das Quecksilber zum andern. Wenn der positive Strom herabsteigt, so rotirt der Nordpol des Magneten, wenn er der obere ist, um den Drath *a b*, von Osten durch Süden nach Westen gehend, wie die Bewegung der Zeiger einer Uhr; wenn der Strom aufsteigt, so ist die Richtung der Rotation umgekehrt. Unter ähnlichen Umständen wird der Südpol stets in entgegengesetzter Richtung rotiren.

Wenn ein magnetischer Pol um einen Conductor rotirt, so ist auch der Conductor ebenso disponirt, um den magnetischen Pol zu rotiren; die Rotation des Conductors findet wirklich statt, wenn der magnetische Pol fest und der Conductor beweglich ist; gerade so wie sich der Magnet nach dem Eisen, oder das Eisen nach dem Magnet bewegt, je nachdem das eine oder das andre frei sich bewegen kann. Apparate dieser Art, in welchen ein Leitungsdrath um einen Magneten, oder ein Magnet um einen Leitungsdrath rotirt, heissen *Rotationsapparate.* Man hat Rotationsapparate in den mannigfaltigsten Formen construirt, deren Aufzählung jedoch hier zu weit führen würde.

Es ist klar, dass die Richtung der Rotation, welche durch einen festen Strom einem beweglichen Pol mitgetheilt wird, mit derjenigen identisch ist, welche derselbe Pol demselben Strom mitzutheilen strebt. Es sey *u* Fig. 26 der Durchschnitt eines Drathes, durch welchen der positivelektrische Strom herabsteigt, und *n* der Nordpol eines Magneten. Wenn *u* strebt *n* nach der rechten Seite zu bewegen, so gibt der Nordpol *n* dem Drath *u* einen Impuls in entgegengesetzter Richtung, wie durch die Pfeile angedeutet ist. Jeder ist disponirt, einen Kreis um den andern als Centrum zu beschreiben, in derselben Richtung sich bewegend, wie die Zeiger einer Uhr mit aufwärts gerichtetem Zifferblatt; und wenn *n* und *u*

Fig. 26.

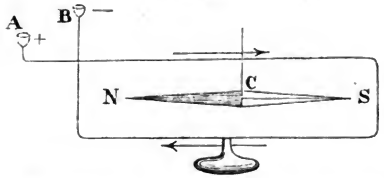


Digitized by Google

sich gleich frei bewegen könnten, so würden sie wirken wie gekuppelte Kräfte in der Statik, und würden streben, sich um die Mitte der punktirten Linie zu rotiren, welche sie verbindet.

Der Vortheil der rechtwinklichen Form bei der Construction eines Galvanometers (pag. 72) ist nun begreiflich. Auf eine Magnetnadel N S von Norden nach Süden gerichtet, und an dem Punkt C horizontal in dem Rectangel aufgehängt, Fig. 27, wird von allen Seiten auf gleiche Weise

Fig. 27.



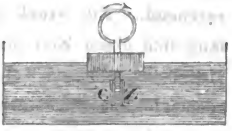
gewirkt. Wenn der positivelektrische Strom von A horizontal von Norden nach Süden über die Nadel weggeht, und dann successiv längs der drei andern Seiten nach B, so ist der Einfluss, welchen jede Seite ausübt, dem eben entwickelten Prinzip gemäss der, den Nordpol ostwärts, und den Südpol westwärts zu bewegen. Die kleinen Gefässe A B sind bestimmt, Quecksilber aufzunehmen, und dienen dadurch dazu, das Rectangel mit den entgegengesetzten Seiten einer galvanischen Combination zu verbinden.

Wenn das Rectangel in dieser Combination die Eigenschaft hat, den Nordpol des Magneten nach der rechten Seite hin zu bewegen, so muss umgekehrt der Nordpol, wenn er auf diese Seite gebracht wird, dem Rectangel einen entgegengesetzten Impuls geben. Diess kann mit einem eleganten Apparat von De la Rive gezeigt werden, welcher aus einem kreisförmigen Kupferdrath besteht, dessen Ende, an welche eine Zink- und eine Kupferplatte gelöthet sind, durch einen Kork hindurchgehn. Setzt man diese

Digitized by Google

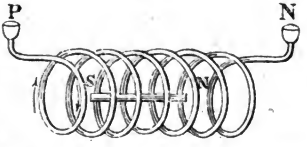
Vorrichtung in ein Gefäss mit gesäuertem Wasser, so geht ein positivelektrischer Strom von der Kupferplatte durch den Kreis zum Zink, wie Fig. 28 zeigt; und da der Kork den ganzen Apparat schwimmen macht, so wird er durch eine sehr geringe Kraft in Bewegung gesetzt. Er zeigt verschiedene Phänomene von Attraction und Repulsion, die alle aus dem eben auseinandergesetzten Prinzip erklärbar sind, je nach der relativen Lage des magnetischen Pols, welcher ihm zugewendet wird. Der Apparat wirkt kräftiger, wenn der Leitungsdrath mit Siegellack überzogen ist, um Seitenkommunikation zu verhindern, und nach dem Prinzip des Multiplikators mehrere Kreise von gleichen Durchmesser bildet.

Fig. 28.



Ein voltaisch-elektrischer Strom bestimmt nicht allein die Stellung des Magneten, sondern macht auch Stahl bleibend magnetisch. Diess wurde gleichzeitig von Arago und Davy beobachtet, welche fanden, dass wenn Nadeln rechtwinklich zu dem Leitungsdrath gehalten wurden, ihnen alsdann bleibender Magnetismus mitgetheilt wurde; und Davy glückte es, diese Wirkung durch den elektrischen Schlag der Leidner Flasche hervorzubringen. Arago machte nach der Angabe von Ampère einen voltaischen Conductor in Form einer Schraube, in deren Axe die Nadel, wie in Fig. 29 gebracht wurde.

Fig. 29.

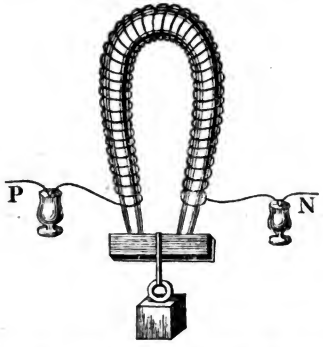


Da in dieser Vorrichtung der Strom in allen Theilen seines Laufs fast rechtwinklich auf der Nadel steht, und da jede Windung ihre Wirkung zu der der andern hinzufügt, so ist die vereinte Wirkung der Schraube sehr stark. Die Nadel war in einem Augenblick stark magnetisirt.

Digitized by Google

Da weiches Eisen den Magnetismus nicht festzuhalten vermag, so sind seine magnetischen Eigenschaften während des Einflusses eines elektrischen Strom's wahrhaft überraschend. Ein Stück weiches Eisen ohngefähr einen Fuss lang und einen Zoll im Durchmesser, wird in Form eines Hufeisens gebogen, ein Kupferdrath um das ganze Stück rechtwinklich zu seiner Axe gewunden, und eine Armatur von weichem Eisen, an welche ein Gewicht befestigt werden kann, wird an seinen Enden angebracht; Fig. 30.

Fig. 30.



Verbindet man die Ende des Drathes mit einer einfachen voltaischen Kette von mässiger Grösse, so wird das weiche Eisen auf der Stelle ein starker Magnet, und trägt ein Gewicht von 50, 60 bis 70 Pfund. Die Zunahme der Anzahl der Windungen gibt einen grossen Zuwachs an Kraft; da aber die Länge des Drathes, welche zu diesem Zweck erforderlich ist, den Einfluss des Stroms vermindert, (p. 33) so hat man das folgende Arrangement mit Erfolg angewandt. Die ganze Länge des Kupferdrathes, welchen man anwenden will, wird in mehrere Stücke getheilt, deren jedes mit Siegellack oder Seide bedeckt, um Seitenverbindung zu verhindern, für sich um das Eisen gewunden wird. Die Ende aller Dräthe werden alsdann in zwei Bündel vereinigt

Digitized by Google

und in Verbindung mit der voltaischen Batterie gebracht, so dass der positive Strom durch alle Dräthe in derselben Richtung hindurchgeht. Der Strom ist auf diese Weise in mehrere Arme getheilt, hat nur einen kurzen Weg von einem Ende der Batterie zum andern zu durchlaufen, und gibt desshalb eine grössere Kraft, je nach der Menge der Windungen. Eine Combination dieser Art mit einer Batterie von fünf Quadratfuss Oberfläche trug 2063 Pfund, also fast ein Tonnengewicht. Ein dicker Drath, der um das weiche Eisen gewunden ist, wirkt noch stärker, als die Windungen mehrerer dünnen, deren Querdurchschnitte zusammen dem Querdurchschnitt des dicken gleich sind.

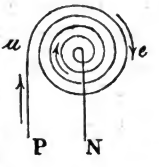
Bei der Nachweisung des Einflusses, den ein voltaischer Conductor durch seine, den Magneten richtende Kraft und durch Mittheilung des Magnetismus ausübt, ist es schwer, sich von der Meinung loszusagen, dass diese Leiter, während den Strom sie hindurchlassen, selbst magnetisch sind. Diese Meinung wurde früher von denen aufgestellt, welche Oersted's Versuche wiederholten, und später haben sie ihr auch experimentale Evidenz gegeben. Arago und Davy fanden, dass der Kupferdrath, welcher die Ende einer voltaischen Combination verbindet, Eisenfeile anzieht, und dass er sie plötzlich fallen lässt, sobald die Kette unterbrochen wird; dass ferner ein Conductor, wenn seine Bewegungen nicht durch Reibung und Schwere verhindert werden, wie Ampère zeigt, gleich einem gewöhnlichen Magnet, dem Einfluss der magnetischen Erdkraft unterworfen ist. Diese Eigenschaft wird schon durch einen einfachen Drath nachgewiesen, die Wirkung wird aber augenscheinlicher, wenn nach dem Prinzip des Multiplicators der Conductor in eine Spirale oder in ein Rectangel gewunden ist, wie es in Fig. 31 dargestellt ist.

Wenn dieses Arrangement mit einer schwimmenden galvanischen Kombination, wie Fig. 28, verbunden wird, oder sehr delicat aufgehängt ist, so stellt sich die Ebne

Digitized by Google

der Spirale von selbst nach Osten und Westen, und zwar so, dass der Strom auf der Westseite aufsteigt, und auf der Ostseite herabsteigt; der positive Strom hat alsdann denselben Lauf, wie die Zeiger einer Uhr, wenn man ihr Zifferblatt in eine Ebne bringt, welche Osten und Westen verbindet, und nach Süden gekehrt ist. Diejenige Seite der Spirale, welche nach Norden gekehrt ist, wirkt übereinstimmend mit den erwähnten Versuchen, als Nordpol, und die Südseite der Spirale hat die entgegengesetzte Polarität. Jede Seite zieht stark Eisenfeile an. Eine andere passende Form für den Conductor ist die Schraube, Fig. 26. Jede Windung der Schraube ist ein Magnet für sich, und strebt ihre Ebne in dieselbe Lage zu bringen, wie eine Spirale oder ein Rectangel. Die vervielfachte Wirkung aller dieser Windungen aber verursacht eine an den entgegengesetzten Enden der Schraube angehäufte Nord- und Südpolarität, die demnach nicht blos durch die Dicke des Drathes, sondern durch die ganze Länge der Schraube getrennt ist.

Fig. 31.

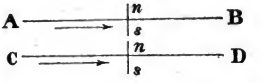


Da demnach die eben beschriebenen Leiter als Magnete betrachtet werden können, so müssen sie sich auch wie magnetische Leiter gegenseitig abstossen und anziehn, wenn Pole von derselben oder von verschiedener Natur einander gegenüber liegen; und da die Wirkung der ganzen Spirale die Anhäufung der Wirkung der einzelnen Theile ist, so kann man annehmen, dass die entgegengesetzten Seiten eines jeden kleinen Stückes des Leiters in dem Zustand entgegengesetzter Polarität sich befinden, und dass zwei solcher gegenüberstehender Theile einander anziehn oder abstossen müssen, nach demselben Prinzip wie die Spiralen, deren Theile sie sind. Ja sogar verschiedne Theile desselben Leiters müssen gegenseitig attractiv und repulsiv wirken. Diese aus den auseinandergesetzten Thatsachen gezogenen Schlüsse

Digitized by Google

wurden bald nach der Entdeckung Oersted's durch Ampère bewiesen. Er bewies, dass zwei voltaische Leiter, oder zwei Stücke desselben Leiters einander anziehn, wenn der Strom in denselben die nämliche Richtung hat, und dass sie sich gegenseitig abstossen, wenn sie von entgegengesetzten Strömen durchlaufen werden. So sind die zugewendeten Seiten in den parallelen positiven Strömen *A B* u. *C D* Fig. 32, die sich in derselben Richtung bewegen, von entgegengesetzter Polarität afficirt, da die eine Südpol, die andere Nordpol ist.

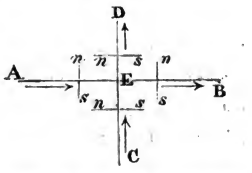
Fig. 32.



Wäre die Richtung des unteren Stromes umgekehrt, so dass er von *D* nach *C* liefe, so würde auch die Polarität des unteren Drathes umgekehrt seyn; sein Nordpol läge unten, der Südpol oben; alsdann aber sind die gleichnamigen Polaritäten der Leiter einander zugekehrt, sie werden sich also abstossen.

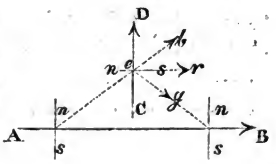
So ist klar, dass wenn zwei Ströme sich einander kreuzen, wie *A B* und *C D* Fig. 33, dass alsdann in zwei der vier Ecken, *A D* und *C B* gleiche Pole einander gegenüberstehen, während in den andern Ecken entgegengesetzte Pole zusammentreffen. Daraus geht hervor, dass die Dräthe sich um *E* zu drehen streben, und sich von selbst so stellen, dass die Ströme parallel sind, und in beiden nach derselben Richtung sich bewegen.

Fig. 33.



Wenn ein beweglicher Conductor *C D* ganz auf der einen Seite von *A B* sich befindet, wie in Fig. 34, so wird von der einen Seite her Anziehung, von der andern Abstossung stattfinden. Die Richtung in welcher die Kräfte wirken sind durch die punk-

Fig. 34.

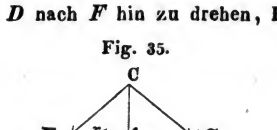


Digitized by Google

tirten Pfeile *e b* und *e g* angezeigt; sie geben eine Resultirende *e r*, welche strebt *C D* nach der rechten Seite zu drehn. Wäre die Richtung des Stroms in *C D* umgekehrt, so würde die resultirende *e r* nach der entgegengesetzten Seite liegen, und den Drath *C D* mit einer Kraft, welche auf ihm selbst rechtwinklig steht, nach der linken Seite zu drehn streben.

Wenn in dem letzten Falle der Conductor um *C* als Centrum drehbar wäre, so würde die Resultirende *e r* streben, das Ende *D* nach *F* hin zu drehen, Fig. 35; würde

Fig. 35.



aber der Strom in dem Conductor umgekehrt, so würde *C D* nach G hin sich drehn.

Es sind diess fünf Beispiele von den zahlreichen Thatsachen, welche Ampère durch Versuche nachwies, indem er die Wirkung voltaischer Leiter auf einander untersuchte. Diesen Theil unsers Gegenstandes bezeichnet man mit dem Namen der *„Elektro-Dynamik."* Der Gebrauch dieses Ausdrucks wird jedoch dadurch beschränkt, dass man die wechselseitige Wirkung zwischen Leitern und Magneten *„Elektro-Magnetismus"* nennt. Diese beiden Branchen sind aber so ganz und gar Theile derselben Wissenschaft, dass ich beide unter dem Namen Elektro-Dynamik zusammengefasst habe. Jeder, welcher mit einiger Aufmerksamkeit die letzten Seiten gelesen hat, kann nicht umhin, eine vollkommene Analogie zwischen einer von einem elektrischen Strom durchströmten Schraube und einem Magneten zu ziehen. Die erstere wird durch andre voltaische Leiter, durch die Pole eines Magneten, und durch den Erdmagnetismus gerade ebenso afficirt, wie der letztere. Diese Aehnlichkeit, oder

Digitized by Google

vielmehr diese Identität leitete Ampère auf seine Theorie des Magnetismus. Er nimmt an, dass die Polarität eines jeden Magneten nur von der Circulation elektrischer Ströme in seinem innern und auf seiner Oberfläche herrühre, die in Ebnen, welche rechtwinklicht auf der Axe des Magneten stehn, sich continuirlich von Theilchen zu Theilchen fortbewegen. Bringt man einen Magneten in seine natürliche Lage von Norden nach Süden, so ist die Richtung der Ströme genau dieselbe, wie in den Leitern Fig. 31, auf der Ostseite heruntersteigend, unter dem Magneten von Ost nach West sich bewegend, und auf der Westseite aufsteigend. Ebenso nimmt man an, dass Ströme in der Erde, namentlich in der Nähe ihrer Oberfläche circuliren, welche von Osten nach Westen in Ebnen, die dem magnetischen Aequator parallel sich bewegen. Diese Erdströme machen, dass alle Körper, welche frei aufgehängt sind, und in welchen elektrische Ströme sich bewegen, sich von selbst in eine solche Lage stellen, dass der Strom auf ihrer untern Seite parallel und in derselben Richtung mit demjenigen in der Erde fliesst, welcher unmittelbar unter ihm liegt. Dass der Existenz solcher Ströme die richtende Kraft der Erde zugeschrieben werden kann, folgt aus der wechselseitigen Wirkung der Leiter auf einander. Barlow konstruirte, um diese Analogie noch vollständiger zu machen, eine Halbkugel von Holz, in welcher er elektrische Ströme auf dieselbe Weise cirkuliren liess, wie man sich denkt, dass es in der Erde geschehe. Indem er nun eine astatische Nadel an verschiedne Orte ihrer Oberfläche brachte, fand er, dass alle Phänomene des Erdmagnetismus auf diese Weise nachgeahmt werden.

Die Beobachtung hat einen Grund zur Annahme der Existenz der Ströme in der Erde, welche in der nach der Theorie erforderlichen Richtung sich bewegen, gegeben. Die tägliche Rotation unsers Planeten um seine Axe macht, dass seine Oberfläche in der Richtung von Osten nach Westen hin erwärmt wird; und die in der Thermoelektrizität

Digitized by Google

gemachten Entdeckungen zeigen hinlänglich die Wahrscheinlichkeit, dass elektrische Ströme in der leitenden Materie durch die successive Erhitzung ihrer Theile gebildet werden. Kurz Ampère's Theorie verbindet die Thatsachen der Elektro-Dynamik mit den Phänomenen des Erdmagnetismus, und gibt ein glänzendes Beispiel von der fruchtbaren Anwendung mathematischer Analysis auf physikalische Untersuchungen.

Volta-elektrische Induction.

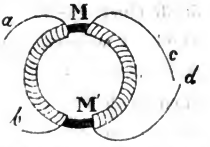
Die Entwickelung von Elektricität, welche durch die Nähe eines elektrisch erregten Körpers hervorgebracht wird, und die unter dem Namen der Vertheilungselektricität bekannt ist, leitete Faraday darauf hin, zu untersuchen, ob nicht die Elektricität, welche in Bewegung sich befindet, ebenso wie die in Ruhe und Spannung sich befindende durch Vertheilung (Induction) hervorgebracht werden könnte. Obgleich seine früheren Versuche scheiterten, so glückte es ihm doch, eine ganz neue Branche der Elektrodynamik zu eröffnen, welche eben so interessant und wichtig ist, wie die Entdeckung Oersted's (Phil. Trans. 1831). Ein Kupferdrath, welcher 203 Fuss lang war, wurde um ein dickes Holzklotz in Form einer Schraube gewunden, alsdann wurde ein gleich langer ähnlicher Drath um dasselbe Stück Holz in derselben Richtung gewickelt, so dass die Windungen einer jeden Schraube zwischen denen der andern lagen, ohne dass jedoch eine Berührung zwischen ihnen stattfand. Die Enden der einen Schraube wurden nun mit einem Galvanometer, die der andern mit einer starken galvanischen Batterie verbunden, in der Absicht, um zu sehn, ob der Strom in der einen Schraube auch einen in der danebenliegenden Schraube erzeugt. Es fand sich, dass die Galvanometernadel im Moment der Schliessung und der Unterbrechung der Kette einen Strom anzeigte, dass aber in der Zwischenzeit keine

Digitized by Google

Ablenkung stattfand; dass ferner der durch Induction erregte Strom leicht eine Nähnadel in dem Augenblick magnetisch machen kann, in welchem der Strom in der andern Schraube beginnt oder aufhört, allein zu keiner andern Periode. Bei Abänderungen des Versuchs wurde dasselbe Resultat erhalten. Ein elektrischer Strom, welcher von einer voltaischen Batterie durch die Leitungsschraube geht, erregt nur in dem Moment einen Strom in der anliegenden Schraube, in welchem die voltaische Kette geschlossen oder unterbrochen wird. In dem ersten Falle ist die Richtung des inducirten Stromes der des inducirenden *entgegengesetzt*, in dem letzten Falle aber ist sie *dieselbe*. Diess Phänomen bezeichnete Faraday mit dem Namen der *Volta-elektrischen Induction*.

Die inducirende Kraft eines Magneten überwiegt bei weitem die eines elektrischen Stromes. Ein Ring von weichem Eisen wurde fast zur Hälfte mit mehreren Schrauben überwickelt, deren Enden so verbunden waren, dass sie alle zusammen eine zusammengesetzte Schraube bildeten, die sich in den Leitungsdräthen *a b* endigten. Die andre Hälfte des Ringes war mit ähnlichen Schrauben überwunden, welche durch die Dräthe *c, d* mit einem Galvanometer verbunden waren. Die beiden Schraubengewinde waren von einander durch die Stücke *M* und *M'* Fig. 36, des Ringes getrennt, und waren durch Tuch von dem unmittelbaren Contact mit dem Ring selbst verhindert. In dem Augenblick, da die Dräthe *a* und *b* mit den Enden einer voltaischen Batterie in Berührung kamen, wurde das Galvanometer stark afficirt, die Nadel kehrte aber in ihre ursprüngliche Lage zurück, bis die voltaische Kette unterbrochen wurde, wobei die Nadel eben so stark wie vorher, aber nach der entgegengesetzten Richtung abgelenkt wurde. Die Wirkung war weit grösser, wenn beide zusammengesetzte Schrauben auf demselben Theile des Ringes sich

Fig. 36.



Digitized by Google

befanden, weil die Induction offenbar durch die grössere Nähe der Schrauben wuchs. Eine andre Vorrichtung Faraday's, welche in manchfacher Hinsicht dem Ringe vorzuziehen ist, besteht aus einem hohlen Cylinder von Pappendeckel, um welchen herum die zusammengesetzten Schrauben befestigt waren. Wurde die eine Schraube mit einer voltaischen Kette verbunden, so lenkte die andre das Galvanometer ab, und magnetisirte eine Nadel, wie in den oben beschriebenen Versuchen über Volta-elektrische Induction; wenn aber ein Cylinder von weichem Eisen in die Pappendeckel-Hülse eingeschoben wurde, und ein voltaischer Strom, wie vorher hindurchging, so war die Wirkung auf das Galvanometer bei weitem grösser. Die Wirkung in diesem Experiment, und bei dem Eisenring wird mit dem Namen *Magnet-elektrische Induction* bezeichnet.

Die Phänomene, welche durch die magnet-elektrische und durch die volta-elektrische Induction hervorgebracht werden, rühren von demselben Zustande des inducirten Drathes her. Die Wirkung auf die Nadel, obgleich in der Stärke verschieden, ist der Art nach dieselbe. Es ist ebenfalls klar, dass das Agens, welches in dem inducirten Drathe wirkt, ein elektrischer Strom ist; oder, um die Sprache der Theorie nicht zu gebrauchen, dass der inducirte Drath sich in demselben elektrischen Zustand befindet, wie der Leitungsdrath einer geschlossenen voltaischen Kette. Das Vermögen Stahl zu magnetisiren und die Magnetnadel abzulenken beweist diess hinlänglich, aber ausserdem gelang es Faraday auch noch Froschschenkel in Zuckungen zu versetzen, indem er sie mit dem inducirten Drath in Verbindung brachte. Als er die Enden dieses Drathes mit Spitzen von Holzkohle versah, und sie in dem Augenblick trennte, in welchem der Strom im inducirenden Drath unterbrochen oder wieder hergestellt wurde, erhielt er elektrische Funken. Die Weise, auf welche das weiche Eisen diese Wirkung hervorbringt, ist leicht einzusehen. Es ist oben (pag. 80) gezeigt wor-

Digitized by Google

den, dass ein elektrischer Strom, welcher um einen Stab von weichem Eisen cirkulirt, dasselbe in einen temporären Magnet verwandelt, welcher ausserordentliche Kraft besitzt. Ohne Zweifel muss diesem Magnet, welcher durch den elektrischen Strom in diesen temporären Zustand versetzt wird, der grösste Theil der inducirten Elektricität zugeschrieben werden. Faraday machte diess dadurch ganz zuverlässig, dass er um einen Cylinder von weichem Eisen eine Schraube wand, die er mit einem Galvanometer in Verbindung brachte und das weiche Eisen nicht durch eine voltaische Batterie, sondern dadurch, dass er an jedes Ende des Cylinders die einen der entgegengesetzten Pole eines Magneten hielt, zum Magnet macht. Während des Ansetzens der Pole an das Eisen wurde die Galvanometer-Nadel abgelenkt; die Ablenkung wurde aber wieder in entgegengesetzter Richtung hervorgebracht, wenn der Magnetismus des weichen Eisens in Folge der Wegnahme des Magneten aufhörte. Ebenso wurde die Galvanometernadel abgelenkt, wenn in einen hohlen Cylinder von Pappendeckel, um den eine Schraube gewunden war, ein wirklicher Magnet eingeschoben wurde. Die Nadel blieb alsdann ruhig stehn, so lange der Magnet im Cylinder blieb, in dem Augenblick aber, in welchem er entfernt wurde, wurde sie abermals, und zwar wie gewöhnlich, in entgegengesetzter Richtung abgelenkt.

Diese merkwürdigen Phänomene, welche ganz neue und innige Beziehungen zwischen voltaischer und magnetischer Wirkung begründen, und die schöne Theorie Ampère's vom Magnetismus von neuem bestätigt haben, leiteten zu einem Experiment, durch welches auf den ersten Anblick ein elektrischer Funke von dem Magneten selbst abgeleitet erscheint. Nachdem Faraday seine oben erwähnten Experimente, einen Funken aus dem inducirten Drathe zu erhalten, bekannt gemacht hatte, wurden andre Versuche angestellt, um denselben Effect blos durch einen Magneten ohne Hülfe des Galvanismus hervorzubringen. Der erste,

Digitized by Google

welchem diess glückte, war Professor *Forbes*, der mit einem kräftigen Magneteisenstein operirte, welcher der Universität zu Edinburg durch den Dr. Hope überreicht worden war. (Phil. Trans. of. Ed. 1832). Eine Schraube von Kupferdrath wurde um die Mitte eines Cylinders von weichem Eisen angebracht, welcher so lang war, dass seine Enden von einem Pol des Magnetsteins bis zum andern reichten. Indem man den Cylinder von weichem Eisen an die Pole des Magneten anlegte und wieder abzog, wurde abwechselnd Magnetismus in ihm erregt und zerstört; und in den Perioden des Uebergangs wurden dadurch in der das weiche Eisen umwindenden Schraube elektrische Ströme inducirt; wenn man nun in diesen Momenten den metallischen Contact zwischen den Enden der Schraube unterbrach, so wurde ein elektrischer Funken sichtbar. Der Versuch glückte Herrn Forbes am besten, wenn er ein Quecksilbernäpfchen mit dem einen Drathende in Verbindung brachte, und das andre Drathende in dem Moment von der Quecksilberoberfläche entfernte, in welchem ein Gehülfe die Armatur des weichen Eisens von dem Magnetstein wegzog; in diesem Experiment erhielt man also Elektricität aus einer Schraube; sie war in demselben durch weiches Eisen, in dem Momente, in welchem es Magnetismus erhielt oder verlor, inducirt. Dasselbe Experiment wurde von Faraday mit einem dem Professor Daniell zugehörigen Magneteisenstein abgeändert; kurz vor dem Experiment des Hrn. Forbes, glückte es *Pixii* und *Antinori* mit einem gewöhnlichen Stahlmagneten. Pixii änderte diesen Versuch abermals ab; er brachte eine grosse Wirkung hervor, indem er einen starken Hufeisen-Magneten um eine Axe sich so drehen liess, dass seine Pole in rascher Folge an einer Armatur von weichem Eisen, welche dieselbe Form hatte, vorbeistrichen. Ein noch besseres Arrangement ist es, wenn man macht, dass die Armatur an den Polen eines starken Magneten sich vorbeibewegt, wie es bei dem Instrument der Fall ist, welches Hr. Saxon

Digitized by Google

ausgeführt hat, und welches in der Adelaide-rooms zu London aufbewahrt wird. Die inducirten Ströme haben dabei stets eine Richtung, welche derjenigen *entgegengesetzt* ist, in welcher man sich die Armatur von Strömen umkreist denkt, wenn diese den Polen genähert wird, aber *dieselbe,* wenn sie von den Polen weggezogen wird, so dass die Ströme während jeder Umdrehung zweimal ihre Richtung ändern. Am leichtesten lässt sich der magnetische Funke auf folgende Weise hervorbringen: man umwickelt den zwischen den beiden Polen eines Hufeisenmagneten befindlichen Theil des Ankers in mehreren Windungen mit Kupferdrath, der zur Vermeidung der Seitenberührung mit Seide übersponnen seyn muss. Die beiden Ende des Drathes müssen sich in einer Entfernung von 3 bis 4 Zoll von den Windungen berühren, an der Berührungsstelle aber frei von Seide und mit Quecksilber überzogen seyn. Reisst man den so vorbereiteten Anker vom Magneten ab, so trennen sich die Dräthe schon in Folge der Erschütterung gerade in dem Moment, wo auch ein Strom in dem Drathe inducirt wird, und der Funke erscheint zwischen den amalgamirten Drathenden. Dasselbe geschieht beim Ansetzen des Ankers. Um das Ansetzen und Abreissen des Ankers mit der gehörigen Schnelligkeit und Regelmässigkeit ausführen zu können, hat man verschiedene mechanische Vorrichtungen erdacht.

In allen diesen Fällen ist die Quelle der Elektricität stets dieselbe, sie ist in der Schraube durch einen temporären Magnet inducirt, sie hat alle charakteristischen Kennzeichen eines voltaischen Stromes: sie bringt glänzende Funken hervor, macht Platindrath glühend-roth, und gibt einen starken Schlag. Schiesspulver wird leicht dadurch entzündet, und Dr. Ritchie richtete einen Apparat vor, um damit ein Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zu explodiren. Wasser wird schnell dadurch zersetzt, und wegen der schnellen Umkehrung der Richtung der Ströme

Digitized by Google

werden beide Gase an jedem Drath entbunden. Pixii gelang es jedoch, sie gesondert zu erhalten. (An. de Ch. et Ph. I, 72). Faraday's Untersuchungen über die bisher betrachteten Wirkungen volta-elektrischer Induction finden sich in seiner „ersten Reihe u. s. w." (Pogg. Ann. Bd. XXV.)

Wir haben bisher nur den vertheilenden Einfluss betrachtet, welchen ein voltaischer Leitungsdrath auf einen neben ihm befindlichen ausübt. Eine ganz eigenthümliche Reihe von Erscheinungen wird aber auch durch den vertheilenden Einfluss ausgeübt, welchen ein von einem galvanischen Strom durchlaufner Drath auf sich selbst ausübt, wenn kein andrer neben ihm sich befindet. Das erste Experiment, welches diesen Einfluss zeigte, und durch welches Faraday auf diesen merkwürdigen Gegenstand, den er in seiner „neunten Reihe u. s. w." (Pogg. Ann. Bd. XXXV) behandelt, hingeleitet wurde, ist von *Jenkin* gemacht worden, welcher folgende Thatsache entdeckte: Wenn man das eine Ende eines um einen Stab von weichem Eisen gewundnen Schraubendrathes in die rechte, das andre aber in die linke Hand nimmt, und mit diesen Enden eine einfache galvanische Kette schliesst und wieder öffnet, so fühlt man im Moment des Oeffnens einen Schlag, was nicht der Fall ist, wenn man anstatt des um das weiche Eisen gewundenen langen Schraubendrathes blos einen kurzen anwendet. Mit dem Schlag wird an der Trennungsstelle auch ein heller Funken beobachtet. Die Stärke des Schlages hängt sehr von der Grösse der metallischen Oberfläche ab, die mit der Hand in Berührung steht; desshalb ist es gut, wenn an die Stelle, wo man die Drathende anfasst, hohle Blechcylinder an dieselben angelöthet sind.

Dieser Versuch wurde nun zunächst von Faraday wiederholt und auf manchfache Weise abgeändert. Er machte Versuche mit Schraubendräthen von 80 bis 90 Fuss, die um weiches Eisen gewunden waren; mit Schraubendräthen von derselben Länge ohne weiches Eisen; mit gleich langen

Digitized by Google

nicht schraubenförmig gewundenen, sondern gerad ausgestreckten Dräthen, und endlich mit kurzen Dräthen. Wie der Versuch auch abgeändert werden mag, so erhält man einen starken Schlag und Funken nur beim Oeffnen der Kette; beim Schliessen derselben entweder gar keinen oder doch nur äusserst schwach. Die stärkste Wirkung gab der um ein weiches Eisen gewundene Schraubendrath; nach ihm der blose Schraubendrath, der durch Einschieben eines Stabs von weichem Eisen leicht zu einem Elektromagnet gemacht werden konnte, wobei sich die Wirkung sogleich bedeutend verstärkte; das Einschieben eines Kupferstab's brachte gar keine Wirkung hervor. Schlag und Funken eines lang ausgestreckten Drathes sind weit schwächer, als wenn derselbe Drath zu einer Schraube gewunden ist; der Schlag ist so schwach, dass man ihn durch die Zunge muss gehn lassen, um ihn fühlbar zu machen. Alle diese Erscheinungen fallen, wie schon bemerkt wurde, bei Anwendung kurzer Leitungsdräthe von zwei bis drei Zoll Länge weg. Diese Wirkungen hängen offenbar von dem vertheilenden Einfluss des Drathes auf sich selbst ab, denn sie ändern sich, sowie der Drath in seiner Länge und in seiner Anordnung geändert wird: Ein kurzer Drath zeigt nur solche Funken und gibt nur solche Schläge, welche der Elektromotor durch seine eigne Kraft erzeugt.

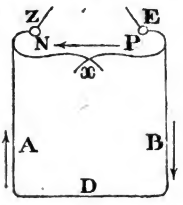
Der Elektromotor, den man am bequemsten und vortheilhaftesten zu diesen Versuchen anwenden kann, ist der Fig. 6 Seite 12 abgebildete Faraday wandte bei seinen Versuchen einen solchen Elektromotor an, bei welchem der Zinkcylinder 8 Zoll hoch war, und 4 Zoll im Durchmesser hatte. Das Schliessen und Oeffnen der Kette wird dadurch bewerkstelligt, dass man die Drathenden in die Quecksilbernäpfchen eintaucht und herauszieht.

Der Schlag in den Armen, und der Funken an den Quecksilbernäpfchen rühren von einem durch die vertheilende Wirkung des langen Drathes auf sich selbst erzeugten

Digitized by Google

Strom her, der sich in zwei Theile zerlegt, wovon der eine durch den Körper geht, dem er als Schlag fühlbar ist, der andre aber, wie das Ueberspringen des Funkens an dem Quecksilbernäpfchen beweist, durch den Elektromotor hindurchgeht. Faraday löthete nun an die Enden des Schraubendraths einen Querdrath von drei Fuss Länge an, der diese Enden gerade so verband, wie es bei den obigen Versuchen durch den menschlichen Körper geschehen war. Während nun der durch Vertheilung erzeugte Extrastrom früher hier den unvollkommenen Leiter, den menschlichen Körper zu durchlaufen hatte, hat er nun einen vollkommenen Leiter zu durchlaufen, und geht desshalb ungetheilt durch den Querdrath und gar nicht mehr durch den Elektromotor hindurch, denn wenn man die Vorrichtung auf diese Weise anwendet, so erscheint an den Quecksilbernäpfchen kein hellerer Funken als bei Anwendung kurzer Dräthe.

Fig. 37.



In Fig. 37 stellte *E* das mit dem Kupfercylinder, und *Z* das mit dem Zinkcylinder verbundne Quecksilbernäpfchen dar, an welchen der Contact vollzogen und unterbrochen wird; A und B seyen die Enden des zur Schliessung angewandten Schraubendrathes D; N und P seyen zwei Querdräthe. Hält man die Querdräthe bei *x* sehr nahe zusammen, während der Contact bei *Z* oder *E* aufgehoben wird, so erscheint bei *x* ein heller Funken, der durch den Uebergang des Querstromes erzeugt wird; an der Trennungsstelle bei *Z* oder *E* erscheint dabei kein Funken.

Ein bei *x* eingefügter zarter Platindrath wird beim Aufheben des Contacts bei *E* oder *Z* glühend, während keine sichtbare Wirkung auf ihn ausgeübt wird, so lange die Kette geschlossen bleibt.

Bringt man bei *x* zwischen die Querdräthe ein mit einer Auflösung von Jodkalium befeuchtetes Stückchen Papier an,

Digitized by Google

so wird durchaus keine Zersetzung wahrgenommen, so lange die Kette geschlossen bleibt; im Moment des Oeffnens aber tritt Zersetzung ein, und zwar erscheint das Jod an dem Drathe N, woraus klar hervorgeht, dass die Richtung des Extrastroms, welcher die Zersetzung hervorbringt, der Richtung des Pfeils gerade entgegengesetzt ist, dass also der durch das Oeffnen der Kette erzeugte Querstrom gerade die *umgekehrte* Richtung von dem Theil des durch den Elektromotor erzeugten Hauptstroms hat, welcher durch die Querdräthe hindurchgeht.

Diess Resultat wurde durch ein Galvanometer, welches bei x eingeschaltet wurde, vollkommen bestätigt. Weil ein Theil des constanten Stromes, welcher vom Elektromotor ausgeht, durch die Querdräthe durchströmt, so zeigt das Galvanometer eine constante Ablenkung, welche einen Strom in der Richtung des Pfeils andeutet; um die Wirkung dieses Stromes aufzuheben, brachte Faraday die Nadel durch Stifte in ihre natürliche Lage zurück, so dass sie sich nicht nach der Richtung hin, welche dem constanten Strom entspricht, wohl aber nach der entgegengesetzten Seite sich bewegen konnte; wurde nun die Berührung bei Z oder E unterbrochen, so wich die Nadel augenblicklich nach dieser Seite ab, was ebenfalls beweist, dass beim *Oeffnen* der Kette die Richtung des Extrastroms in den Querdräthen der durch den Pfeil angedeuteten Richtung gerade entgegengesetzt ist.

Der Extrastrom, welcher durch die Querdräthe im Moment des *Schliessens* der Kette hindurch geht, ist hinsichtlich seiner Richtung dem beim Oeffnen gebildeten gerade entgegengesetzt, und hat also die Richtung des Pfeils; diess bewiess Faraday auf folgende Weise: Er schaltete bei x ein Galvanometer ein, brachte aber vor der Schliessung der Kette die Galvanometernadel durch Stifte so weit aus ihrer natürlichen Lage, als sie durch den constanten Strom, den der Elektromotor durch die Querdräthe sendet,

Digitized by Google

abgelenkt wird; so dass sie nicht in ihre natürliche Lage zurückkehren, wohl aber noch weiter abgelenkt werden konnte. Bei der Schliessung der Kette wich die Nadel in der That noch weiter ab, kehrte aber sogleich in die Lage der constanten Ablenkung zurück. —

Betrachten wir nun die Richtung des durch Vertheilung erzeugten Stroms, die wir in den Querdräthen untersucht haben, auf seinem Wege durch die Schraube D selbst. Aus dem Anblick der Figur ersieht man klar, dass der Strom der in den Querdräthen die Richtung des Pfeils von P nach N hat, auf seinem Wege durch den Hauptdrath D eine den Pfeilen bei A und B entgegengesetzte Richtung hat, oder mit andern Worten, dass der beim Schliessen der Kette durch den Drath D in demselben durch Vertheilung erzeugte Strom gerade die umgekehrte Richtung von dem hat, welchen der Elektromotor hindurch sendet. Wegen des Entgegenwirkens dieser beiden Ströme ist der Schlag und Funke beim Schliessen der Kette schwach. Beim Oeffnen der Kette hat der Strom in den Querdräthen die Richtung von N nach P, stimmt also bei seinem Durchgang durch den Drath D der Richtung nach mit der des Hauptstroms überein, welche durch die Pfeile bei A und B angezeigt ist, daher der verstärkte Schlag und Funken beim Oeffnen der Kette.

Wäre die Schraube D mit einer zweiten so zu einer doppelten Schraube verbunden gewesen, wie es bei den pag. 88 beschriebenen Inductionsversuchen der Fall war, so könnten alle diese Erscheinungen durch Schliessung der Kette mit den Enden der Schraube D nicht mehr hervorgebracht werden, wenn die Enden der andern so miteinander verbunden sind, dass sie einen geschlossenen Bogen bildet, wohl aber wird dem obigen gemäss in der zweiten Schraube ein Strom inducirt, der beim Schliessen dem Strom in D entgegengesetzt ist, beim Oeffnen aber mit demselben übereinstimmt. Es zeigt sich hierin vollständige Uebereinstimmung in der Richtung der Ströme, welche ein Drath durch

Digitized by Google

Vertheilung in einem andern und in sich selbst hervorbringt. Denselben Strom, den eine Schraube in einer andern neben ihr befindlichen inducirt haben würde, wird der vertheilende Einfluss des Schliessungsdrathes in sich selbst erzeugen, wenn kein andrer mit ihm paralleler vorhanden ist, auf den er diese Wirkung ausüben kann.

Um die bisher besprochenen Trennungsschläge in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper gehn zu lassen, kann man durch passende Anwendung das pag. 37 beschriebene Neeff'sche Blitzrad gebrauchen; nur liegt bei nicht sehr starken Strömen darin ein Hinderniss, dass die Berührung des Drathes *c* Fig. 16 mit der Kupferplatte nicht innig genug ist.

Nahe verwandt mit der magnet-elektrischen Induction, wenn nicht ganz von derselben Grundursache abstammend, ist die Induction elektrischer Ströme durch Bewegung. Schiebt man einen Magneten in eine hohle Schraube von Kupferdrath, und zieht man ihn nachher wieder heraus, so wird dadurch ein momentaner Strom in der Schraube erregt; ist aber der Magnet fest und nähert man ihm die Schraube, so wird in ihr gleichfalls ein Strom inducirt. Hält man den einen Pol des Magneten an das eine Ende der Schraube, deren Enden mit einem Galvanometer in Verbindung sind, so bleibt die Galvanometernadel ruhig, so lange der Magnet ruhig bleibt; schiebt man aber den Magneten in die Schraube hinein, so wird die Nadel abgelenkt, und zwar zeigt sie einen Strom in der Schraube an, welcher der Richtung der Ströme, die wir uns in dem Magnet cirkulirend denken, gerade *entgegengesetzt* ist. Bleibt der Magnet ruhig in der Schraube, so kehrt die Galvanometernadel wieder in ihre natürliche Lage zurück; beim Herausziehn des Magneten wird sie von Neuem in der entgegengesetzten Richtung abgelenkt, und zeigt also einen Strom an, welcher *dieselbe* Richtung hat, wie die Ströme, welche den Magneten umkreisen. Es ist dabei gleichgültig, welchen Pol man zuerst in die Schraube einschiebt.

Digitized by Google

Diese Wirkung findet nicht allein zwischen Kupferdräthen und Magneten statt; in allen festen Leitern der Elektricität wird ein elektrischer Strom erzeugt, wenn man sie nach einem Pole eines Magneten hinbewegt und hinwegzieht; bei den vollkommensten Leitern ist die Wirkung am grössten. Das Gesetz, nach welchem die Richtung des Stroms in dem Conductor sich bestimmen lässt, ist kurz ausgedrückt folgendes: wenn der Leitungsdrath einer galvanischen Kette auf einen Magneten oder einen anderen Leitungsdrath anziehend oder abstossend wirkt, oder ihm eine rotirende Bewegung mittheilt, so wird in dem Leitungsdrath, wenn man die Batterie wegnimmt, seine Enden mit einander verbindet, und diese Bewegungen mechanisch nachahmt, ein Strom inducirt, welcher dem *entgegengesetzt* ist, den die Batterie durch ihn hindurchsandte. *)

Faraday hat diess Gesetz trefflich benutzt, um die von Arago entdeckten Rotationserscheinungen zu erklären. Wenn man eine Kupferplatte rasch umdreht, welche sich nah unter einer Magnetnadel befindet, die so aufgehängt ist, dass sie in einer der Platte parallelen Ebne rotiren kann; so rotirt die Nadel in derselben Richtung wie die Scheibe; umgekehrt strebt eine rotirende Magnetnadel eine ihr gegenüberstehende Kupferplatte in Rotation zu versetzen.

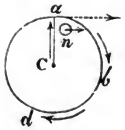
*) Nach Ritchie müsste dieses Gesetz gerade umgekehrt werden (Phil. Mag. 3rd. scrus. IV. 12.), d. h. nach ihm müsste der Strom immer die umgekehrte Richtung von der haben, die aus obigem Gesetze folgt; man hat jedoch nur nöthig, die einfachsten Versuche Faraday's genau zu betrachten, um sich zu überzeugen, dass das Gesetz gerade so ausgedrückt werden muss, wie es oben steht; offenbar hat sich bei Ritchie ein Irrthum eingeschlichen. Poggendorff gibt in seinen Annalen (Bd. XXXI. pag. 203) eine Uebersetzung des erwähnten Aufsatzes von Ritchie, macht aber in einer Anmerkung darauf aufmerksam, dass das dort ausgesprochene Gesetz doch wohl gerade umzukehren sey. Turner hat das Gesetz gerade so aufgenommen, wie es Ritchie gegeben hat.

Digitized by Google

Dieselbe Wirkung bringt nach Arago nicht blos die Rotation von Metallen hervor, sondern die Rotation aller festen, flüssigen oder gasförmigen Körper.

Diese Wirkungen, welche Faraday vorzüglich in Beziehung auf die Rotation von Metallen untersuchte, rühren ganz allein von elektrischen Strömen her, welche durch die Rotation inducirt werden, und deren Richtung rechtwinkelig auf die der Bewegung steht. Es sey *a b d* Fig. 38 eine kreisförmige Metallplatte, welche horizontal liegt und in ihrer Ebne um das Centrum C rotiren kann; ferner sey *n* der Nordpol eines Magneten, welcher sich nahe an ihrem Rand über der Platte befindet. Wenn in der Platte lauter positive Ströme von *c* aus nach dem Rande gingen, so würde *n* in der Richtung des Pfeils fortgetrieben werden, oder wenn *n* fest wäre, so würde sich die Scheibe in entgegengesetzter Richtung von der Rechten zur Linken drehn. (Das Barlow'sche Rad. Pogg. Ann. Bd. XXXI. pag. 491.) Will man in ihr also durch Bewegung Ströme induciren, welche ebenfalls von der Mitte zum Rand gehn, so muss man die Scheibe von der Linken zur Rechten umdrehn, wie es durch den Pfeil *d* angedeutet wird. Die Richtung dieser Ströme ist stets rechtwinklig auf der des punktirten Pfeils, welcher die Richtung angibt, nach welcher der dem Pol zunächst stehende Theil der Platte sich bewegt. Der Pol selbst aber erhält durch die Ströme, die er inducirt, einen Impuls nach derselben Richtung.

Fig. 38.



Die Existenz der Ströme, von denen eben die Rede war, hat Faraday auf eine äusserst sinnreiche Art nachgewiesen. Er machte die Axe, um welche die Scheibe rotirt, von Metall, und schlang darum einen Drath, den er mit dem einen Ende des Galvanometerdraths verband. In dem Punkte *a* hielt er einen Collector von Kupfer fest an den Rand der Scheibe; dieser Collector war mit dem

Digitized by Google

anderen Drathende des Galvanometers verbunden. Sobald die Scheibe gedreht wurde, wich die Nadel augenblicklich ab, denn der positive Strom ging von *C* nach *a*, durch den Collector und den Galvanometerdrath wieder nach *c*.

Faraday veränderte die Form dieses Versuchs, indem er, statt der rotirenden Scheibe, einen Streifen von Kupfer zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets hindurchführte. In dem Streifen wurden durch diese Bewegung ebenfalls Ströme inducirt, welche ganz den Strömen in der rotirenden Scheibe entsprachen.

Die durch Induction erzeugten Ströme, welche Fig. 38 von *C* in der Richtung nach dem Nordpol *n* des Magneten hin bis zum Rande gehn, müssen, wenn man keine Collectoren anlegt, auf einem anderen Wege zum Mittelpunkt der Scheibe zurückkehren; sie verbreiten sich nämlich von dem Theil des Scheibenrandes, welcher dem Pole *n* zunächst liegt, rechts und links, und gehen von andern Stellen des Randes aus wieder nach *C* zurück. Macht man Einschnitte in die Kupferscheibe, welche wie Radien vom Rande nach dem Mittelpunkte gehn, so wird durch dieselben die Circulation der Ströme gehemmt, und es erklärt sich dadurch leicht, dass eine Magnetnadel, unter welcher man eine so eingeschnittene Kupferscheibe rotiren lässt, nicht ebenso der Rotation der Scheibe folgen kann, als wenn die Scheibe diese Einschnitte nicht hätte.

Wenn Bewegung in der Nähe eines Magneten elektrische Ströme inducirt, so lässt sich schon voraussehn, dass der magnetische Einfluss der Erde ähnliche Wirkungen hervorbringen wird; Faraday hat diess auch durch die entscheidendsten und interessantesten Versuche bewiesen. Wenn man einen Stab von weichem Eisen in die Richtung der Neigungsnadel hält, deren Richtung in Beziehung auf den Erdmagnetismus der Axe eines gemeinen Magneten entspricht, so erhält er magnetische Eigenschaften; es folgt daraus, dass, wenn man einen Stab von weichem Eisen in

Digitized by Google

eine hohle Schraube von Kupferdrath einschiebt, welche in die Richtung der Neigungsnadel gestellt ist, ein Galvanometer augenblicklich afficirt wird, welches mit der Schraube verbunden ist. Die Anwendung von weichem Eisen ist sogar nicht nothwendig; wenn man die Schraube nur in einer Richtung, welche rechtwinkelig auf der der Neigungsnadel steht, bewegt, so werden in derselben durch den Erdmagnetismus elektrische Ströme inducirt. Die Form einer Schraube ist nicht wesentlich. Die Bewegung eines Kupferdraths, welcher die Richtung der Neigungsnadel kreuzt, erregt Ströme in dem Drath. Dieselbe Wirkung wird durch die Rotation einer Kupferplatte hervorgebracht, welche horizontal gestellt ist, so dass sie nahe rechtwinkelig auf der Neigungslinie steht. Die Umdrehung einer kupfernen Kugel wirkt auf dieselbe Weise. Faraday schliesst daraus, dass die Umdrehung der Erde um ihre Axe einen ähnlichen Einfluss auf die leitenden Substanzen der Erdoberfläche ausübt, und dass dadurch elektrische Ströme erregt werden, welche von den Aequatorialgegenden zu jedem der Pole gehn. Er stellt dabei die Meinung auf, dass die Nord- und Südlichter wohl von Strömen herrühren könnten, welche von den Polen der Erde durch die Atmosphäre zurückkehren.

Digitized by Google

Druckfehler.

Auf pag. 1 Zeile 7 von unten lese man Muskelfiber statt Muskelfieber.

Digitized by Google

Digitized by Google

89119127546

b89119127546a

Digitized by Google